



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**RANCANG BANGUN SISTEM SENSOR PEMINDAI GERAK  
TANGAN MANUSIA UNTUK MENGENDALIKAN LENGAN  
ROBOT *PNEUMATIC***

Mochammad Bintang Juris Islami  
NRP 07111440000067

Dosen Pembimbing  
Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D.  
Fajar Budiman, S.T., M.Sc.

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**RANCANG BANGUN SISTEM SENSOR PEMINDAI GERAK  
TANGAN MANUSIA UNTUK MENGENDALIKAN LENGAN  
ROBOT *PNEUMATIC***

Mochammad Bintang Juris Islami  
NRP 07111440000067

Dosen Pembimbing  
Ronny Mardiyanto, S.T., MT., Ph.D.  
Fajar Budiman, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**FINAL PROJECT - TE141599**

***DESIGN OF SENSOR SYSTEM TO DETECT HUMAN HAND  
MOTION IN CONTROLLING PNEUMATIC ARM ROBOT***

Mochammad Bintang Juris Islami  
NRP 07111440000067

Supervisor  
Ronny Mardiyanto, S.T., MT., Ph.D.  
Fajar Budiman, S.T., M.Sc.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “RANCANG BANGUN SISTEM SENSOR PEMINDAI GERAK TANGAN MANUSIA UNTUK MENGENDALIKAN LENGAN ROBOT *PNEUMATIC*” adalah benar-benar hasil karya intelektual sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan adalah karya orang lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua refresensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Surabaya, 19 Juli 2018

Mochammad Bintang Juris Islami  
NRP. 07111440000067

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



# **RANCANG BANGUN SISTEM SENSOR PEMINDAI GERAK TANGAN MANUSIA UNTUK MENGENDALIKAN LENGAN ROBOT *PNEUMATIC***

## **TUGAS AKHIR**

**Diajukan guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**


**Pada**

**Bidang Studi Elektronika  
Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

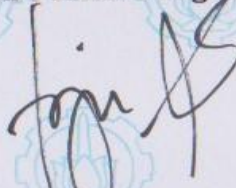
**Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**



**Ronny Murdiyanto, ST., MT., Ph.D.**  
**NIP. 198101182003121003**

**Dosen Pembimbing II**



**Fajar Budiman, ST., M.Sc.**  
**NIP. 198607072014041001**



.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

# **RANCANG BANGUN SISTEM SENSOR PEMINDAI GERAK TANGAN MANUSIA UNTUK MENGENDALIKAN LENGAN ROBOT *PNEUMATIC***

Nama : Mochammad Bintang Juris Islami  
Pembimbing I : Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D.  
Pembimbing II : Fajar Budiman, S.T., M.Sc.

## **ABSTRAK**

Sistem sensor pemindai gerak tangan manusia adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur gerakan tangan manusia dalam sumbu Cartesien. Sistem sensor ini bertujuan untuk mempermudah menggerakkan lengan robot. Aktuator *pneumatic* memiliki daya angkat yang lebih besar. Sistem sensor ini diaplikasikan ke dalam lengan robot 3 dof (*Degree of Freedom*). Komunikasi antara sistem sensor dengan lengan robot terhubung secara *wireless* dan *serial* menggunakan *Bluetooth* HC-05. Gerakan lengan robot akan mengikuti gerakan tangan manusia yang sudah diletakkan sensor. Sensor yang digunakan adalah sensor *flex*, MPU6050 dan HMC5883L.

Dalam tugas akhir ini, lengan robot menggunakan penggerak sistem *pneumatic* yang dapat bergerak dengan dorongan/tarikan udara bertekanan. *Pneumatic* ini kemudian di-*couple* dengan servo yang bertujuan untuk memperhalus gerakan dari *pneumatic*. Besar kecilnya udara yang keluar dari *pneumatic* diatur oleh servo. Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) diterapkan untuk mengatur bukaan *coupling* servo. Keuntungan menggunakan *pneumatic* diantaranya dalam hal kekuatan, ketahanan, konsumsi energi listrik dan kinematika.

Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa kecepatan rata-rata pergerakan lengan robot adalah 18,2 detik, jarak maksimum antara sistem sensor dengan lengan robot adalah 6,7 meter dengan *error* sudut hasta sebesar 4,8 % dan *error* sudut *elbow* sebesar 1,8 %. Bagian *gripper* dapat membuka hingga 8,5 cm. Lengan robot dapat mengangkat beban hingga 0.7 kilogram. Lengan robot memiliki dimensi 77 x 34 x 32 cm dengan berat total 4,2 kg.

**Kata kunci:** lengan robot, *pneumatic*, *accelerometer*, *gyroscope*, *magnetometer*, *flex sensor*.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

# ***DESIGN OF SENSOR SYSTEM TO DETECT HUMAN HAND MOTION IN CONTROLLING PNEUMATIC ARM ROBOT***

*Name* : Mochammad Bintang Juris Islami  
*Supervisor I* : Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D.  
*Supervisor II* : Fajar Budiman, S.T., M.Sc.

## ***ABSTARCT***

*The human hand-motion scanner sensor system is a device used to measure human hand movements in the Cartesian axis. This sensor system aims to make it easier to move the arm robot. Pneumatic has greater lift. This sensor system is applied into a 3-dof (Degree of Freedom) arm robot. Communication between sensor systems with arm robot connected wirelessly and serially using Bluetooth HC-05. The movement of the arm robot will follow the movement of the human hand that has been placed the sensor. Sensors are flex sensor, MPU6050 and HMC5883L.*

*In this final project, the arm robot uses a movable pneumatic drive system with a compressive air pressure / push. Pneumatic is then coupled with a servo that aims to smooth the movement of the pneumatic. The amount of air coming out of the pneumatic is governed by the servo. Proportional Integral Derivative (PID) control is applied to manage the servo coupling. The advantages of using pneumatic are include in terms of strength, durability, electrical energy consumption and kinematics.*

*From the test results, it was found that the average speed of the movement of the arm robot is 18.2 seconds, the maximum distance between the sensor system with the arm robot is 6.7 meters with a hasta angle error is 4.8% and the elbow angle error is 1.8% . The gripper can open up to 8.5 cm. The arm robot can lift loads up to 0.7 kilograms in stably. The arm robot dimensions are 77 x 34 x 32 cm with a total weight of 4.2 kg.*

**Keyword:** arm robot, pneumatic, accelerometer, gyroscope, magnetometer, flex sensor.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, syukur yang tiada henti penulis panjatkan kehadiran Allah SWT serta tidak lupa sholawat serta salam semoga tetap tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad SAW sehingga penelitian dalam tugas akhir ini dapat berjalan lancar dan selesai tepat pada waktunya.

Selama pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, dan penulis sampaikan rasa terima kasih. Terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis sampaikan kepada berbagai pihak yang mendukung dan membantu dalam tugas akhir ini, diantaranya:

1. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan do'a, nasihat, motivasi, dukungan dan karena keberadaan merekalah penulis tetap semangat untuk menyelesaikan penelitian ini.
2. Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D. dan Fajar Budiman, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing, atas dukungan moriil maupun materiil, serta bimbingan, inspirasi, pengarahan, dan motivasi yang diberikan selama pengerjaan penelitian tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen-dosen Departemen Teknik Elektro, khususnya dosen-dosen bidang studi Elektronika.
4. Rekan-rekan yang banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, terutama rekan-rekan laboratorium A206.

Penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih belum sempurna dan masih banyak hal yang perlu diperbaiki. Saran, kritik dan masukan baik dari semua pihak sangat membantu penulis terutama untuk berbagai kemungkinan pengembangan lebih lanjut.

Surabaya, 19 Juli 2018

Mochammad Bintang Juris Islami

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GRAFIK.....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
1.7 Relevansi.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terkait .....	7
2.1.1 Robot Morolipi V.1 dan Morolipi V.2 .....	7
2.1.2 <i>Robot-arm controller using LEAP motion controller</i> .....	8
2.1.3 Pemindai Gerak Tangan Manusia menggunakan Akselerometer dan Sensor Girooskop .....	10
2.1.4 Lengan Robot <i>Pneumatic</i> .....	12
2.1.5 Media Interaksi Manusia-Robot Berbasis Sensor <i>Accelerometer</i> dan <i>Flex (Khusus Gerak Tangan dan Lengan)</i> .....	13
2.1.6 Kajian Pergerakan Robot Lengan Menggunakan Sistem Pneumatik dengan 4DOF dan Beban Maksimum 9 kg .....	13
2.1.7 Pengendalian Lengan Robot Pneumatik Pemindah Plat Melalui <i>Bluetooth</i> dengan <i>Handphone</i> Berteknologi Java .....	14
2.1.8 Pengaturan Posisi Piston Silinder <i>Pneumatic</i> Pada Lengan Robot KRAI.....	14
2.2 Silinder <i>pneumatic</i> .....	15
2.3 Tangki Udara .....	16
2.4 <i>Pneumatic Air Flow Speed Controller</i> .....	17
2.5 Arduino Nano .....	18
2.6 Sensor IMU ( <i>Inertial Measurement Unit</i> ) .....	19
2.7 Sensor HMC5883L.....	20

2.8	Motor Servo.....	21
2.9	Potensiometer.....	22
2.10	LM2596 DC-DC <i>Converter</i> .....	22
2.11	Sensor <i>Flex</i> .....	23
2.12	Modul <i>Bluetooth</i> HC-05 .....	24
2.13	Kontrol PID .....	27
2.13.1	Komponen <i>Proporsional</i> .....	27
2.13.2	Komponen <i>Integral</i> .....	28
2.12.3	Komponen <i>Derivative</i> .....	78
BAB III PERANCANGAN SISTEM.....		29
3.1	Diagram Blok Sistem.....	31
3.2	Perancangan Lengan Robot .....	32
3.2.1	Perancangan Lengan Robot .....	32
3.2.2	Mekanik Peletak Sensor .....	38
3.2.3	Mekanik <i>Coupling</i> Servo .....	49
3.3	Perancangan Sistem Sensor Pemindai Gerak Tangan.....	42
3.3.1	Sistem Sensor Pemindai Gerak Tangan Manusia .....	42
3.3.2	Sensor HMC5883L.....	43
3.3.3	Sensor <i>Flex</i> .....	44
3.3.4	Suplai Daya.....	45
3.3.5	Arduino Nano .....	45
3.3.6	Arduino Mega.....	46
3.4	Perancangan Kontrol PID <i>Pneumatic</i> .....	48
3.5	Perancangan Kontrol <i>Stabilizer</i> .....	50
3.6	Perancangan Gerak Lengan Robot .....	51
3.6.1	Perancangan Gerak <i>Gripper</i> .....	51
3.6.2	Perancangan Gerak Hasta.....	52
3.6.3	Perancangan Gerak <i>Elbow</i> .....	53
3.6.4	Perancangan Gerak <i>Base</i> .....	54
3.6.5	Sinkronisasi Pergerakan .....	54
3.7	Langkah-Langkah Penggunaan Alat.....	56
3.7.1	Mengatur Tekanan Udara .....	56
3.7.2	Memasang Sensor Pemindai Gerak Tangan .....	57
3.7.3	Menghidupkan Lengan Robot .....	57
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS .....		59
4.1	Pengujian Sistem Sensor Pemindai Gerak Tangan .....	60
4.1.1	Pengujian Sensor <i>Flex</i> .....	61
4.1.2	Pengujian MPU6050.....	62
4.1.3	Pengujian HMC5883L .....	63

4.2	Pengujian Gerak Lengan Robot.....	64
4.2.1	Pengujian Resolusi Sudut Hasta .....	64
4.2.2	Pengujian Resolusi Sudut <i>Elbow</i> .....	65
4.3	Pengujian <i>Latency</i> .....	65
4.4	Pengujian Sudut Lengan Robot .....	66
4.5	Pengujian Jarak.....	67
4.6	Pengujian Beban .....	68
4.7	Pengujian Nilai Kp, Ki dan Kd.....	68
4.8	Pengujian Linearitas Hasta dan <i>Elbow</i> .....	71
BAB V PENUTUP.....		75
5.1	Kesimpulan .....	75
5.2	Saran .....	75
DAFTAR PUSTAKA .....		77
LAMPIRAN A.....		79
LAMPIRAN B .....		85
LAMPIRAN C .....		91
LAMPIRAN D.....		93
BIODATA PENULIS .....		99

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Robot morolipi yang dikembangkan oleh LIPI [7].....	7
Gambar 2. 2 Pengendali robot morolipi V.2 [7].....	8
Gambar 2. 3 <i>leap motion controller</i> [8] .....	9
Gambar 2. 4 Pemindai gerak tangan manusia [1] .....	10
Gambar 2. 5 Lengan Robot [1] .....	11
Gambar 2. 6 Lengan Robot <i>Pneumatic</i> [4] .....	12
Gambar 2. 7 Silinder <i>Pneumatic</i> .....	15
Gambar 2. 8 Tangki Udara.....	16
Gambar 2. 9 <i>Pneumatic air flow controller</i> .....	17
Gambar 2. 10 Bagian-bagian <i>Pneumatic air flow controller</i> [19] ...	18
Gambar 2. 11 Arduino Nano [1] .....	18
Gambar 2. 12 Sensor MPU6050 GY-521 [12].....	19
Gambar 2. 13 Sensor HMC5883L .....	20
Gambar 2. 14 Motor Servo [18].....	21
Gambar 2. 15 Potensiometer .....	22
Gambar 2. 16 LM2596 DC-DC <i>Converter</i> .....	22
Gambar 2. 17 Sensor <i>flex</i> [10].....	23
Gambar 2. 18 Rangkaian untuk mengakuisisi data sensor <i>flex</i> .....	24
Gambar 2. 19 <i>Bluetooth</i> HC-05 .....	24
Gambar 2. 20 Konfigurasi pin HC-05 [4] .....	25
Gambar 2. 21 <i>Bluetooth-to-Serial-Module</i> HC-05 [5] .....	25
Gambar 2. 22 Diagram blok PID .....	27
Gambar 3. 1 Skema Sistem Keseluruhan .....	29
Gambar 3. 2 Diagram blok sistem.....	32
Gambar 3. 3 Perancangan lengan robot [2].....	33
Gambar 3. 4 Lengan robot bagian hasta [2] .....	33
Gambar 3. 5 Lengan robot bagian <i>elbow</i> [2].....	34
Gambar 3. 6 Lengan robot bagian <i>base</i> [2].....	34
Gambar 3. 7 Dimensi lengan (dilihat dari samping) [2].....	35
Gambar 3. 8 Dimensi lengan (dilihat dari atas) [2].....	35
Gambar 3. 9 Ilustrasi lengan robot dalam sumbu kartesian 2 dimensi.....	36
Gambar 3. 10 Ilustrasi $F_{p2}$ dalam sumbu kartesian 2 dimensi .....	36
Gambar 3. 11 Ilustrasi $F_{p1}$ dalam sumbu kartesian 2 dimensi .....	37
Gambar 3. 12 Mekanik Peletak Sensor .....	38
Gambar 3. 13 Ilustrasi servo tampak samping .....	40

Gambar 3. 14 Ilustrasi kran <i>pneumatic</i> tampak samping.....	40
Gambar 3. 15 Ilustrasi <i>coupling</i> tampak atas dan samping.....	41
Gambar 3. 16 Ilustrasi keseluruhan <i>coupling</i> servo dan kran <i>pneumatic</i> .....	41
Gambar 3. 17 <i>Wiring</i> MPU6050 bagian 1 .....	43
Gambar 3. 18 <i>Wiring</i> MPU6050 bagian 2 .....	43
Gambar 3. 19 Skematik sensor HMC5883L [17] .....	43
Gambar 3. 20 <i>Wiring</i> sensor HMC5883L.....	44
Gambar 3. 21 Rangkaian pembagi tegangan untuk sensor <i>flex</i> .....	44
Gambar 3. 22 Rangkaian regulator tegangan 5-6V [1] .....	45
Gambar 3. 23 Skematika rangkaian arduino Mega 2650 [9] .....	47
Gambar 3. 24 Ilustrasi <i>coupling</i> motor servo dengan <i>pneumatic</i> .....	49
Gambar 3. 25 Posisi awal lengan dalam sumbu kartesian .....	51
Gambar 3. 26 Posisi lengan saat gerak hasta dalam sumbu kartesian.....	52
Gambar 3. 27 Posisi lengan saat gerak <i>elbow</i> dalam sumbu kartesian.....	53
Gambar 3. 28 Diagram alir proses keseluruhan.....	55
Gambar 3. 29 Tekanan udara 40 psi .....	56
Gambar 3. 30 Pemasangan sensor pemindai gerak tangan .....	57
Gambar 4. 1 Keseluruhan rangkaian lengan robot dan tangki udara .....	59
Gambar 4. 2 Keseluruhan rangkaian mekanik peletak sensor .....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino Nano Atmega 328.....	18
Tabel 2. 2 Spesifikasi sensir MPU6050 .....	19
Tabel 2. 3 Konfigurasi pin modul <i>bluetooth</i> HC-05 [6].....	25
Tabel 2. 4 <i>AT Command</i> modul <i>bluetooth</i> HC-05 [6].....	26
Tabel 3. 1 Spesifikasi Lengan Robot .....	30
Tabel 3. 2 Diameter dalam mekanik untuk meletakkan sensor .....	39
Tabel 3. 3 Bobot mekanik untuk meletakkan sensor.....	39
Tabel 4. 1 Hasil pengujian sensor <i>flex</i> .....	61
Tabel 4. 2 Hasil pengujian MPU6050.....	62
Tabel 4. 3 Hasil pengujian HMC5883L .....	63
Tabel 4. 4 Hasil pengujian resolusi sudut hasta .....	64
Tabel 4. 5 Hasil pengujian resolusi sudut <i>elbow</i> .....	65
Tabel 4. 6 Hasil pengujian <i>latency</i> .....	66
Tabel 4. 7 Hasil pengujian sudut lengan robot.....	66
Tabel 4. 8 Hasil pengujian jarak.....	67
Tabel 4. 9 Hasil pengujian beban .....	68
Tabel 4. 10 Hasil pengujian Kp, Ki dan Kd hasta .....	69
Tabel 4. 11 Hasil pengujian Kp, Ki dan Kd <i>elbow</i> .....	70
Tabel 4. 12 Hasil pengujian linearitas hasta .....	71
Tabel 4. 13 Hasil pengujian linearitas <i>elbow</i> .....	72

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Hasil pengujian sensor <i>flex</i> .....	61
Grafik 4. 2 Hasil pengujian MPU6050.....	62
Grafik 4. 3 Hasil pengujian HMC5883L.....	63
Grafik 4. 4 Hasil perbandingan sudut aktual dengan sudut hasta....	72
Grafik 4. 5 Hasil perbandingan sudut aktual dengan sudut <i>elbow</i> ..	73



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Penanggulangan ancaman terhadap bom adalah hal yang penting karena banyaknya kasus bom yang terjadi di Indonesia beberapa tahun ini. Kasus bom bunuh diri yang terjadi di Indonesia antara lain bom bunuh diri di Bali 1 dan 2 hingga kasus bom bunuh diri yang terjadi di 3 gereja di Surabaya serta bom bunuh diri di mapolres Surabaya pada tanggal 13 dan 14 Mei 2018 serta serangkaian aksi teror bom lainnya. Korban dari serangkaian kasus ledakan bom di Indonesia sangat banyak. Petugas penjinak bom yang bertugas kerap kali menjadi korban dari ledakan bom. Data inilah yang membuat penanggulangan ancaman terhadap bom adalah hal yang penting. Peran manusia dalam penjinakan bom kerap kali mengancam keselamatan anggota, bahkan memungkinkan dapat merenggut nyawa penjinak bom tersebut saat melaksanakan tugas. Penjinak bom dapat digantikan oleh peran robot untuk meminimalisir anggota penjinak bom yang terluka dan meninggal dunia saat melaksanakan tugas.

Teknologi robot dalam penjinakan bom sudah ada dan menggunakan *remote control* yang dioperasikan oleh tim penjinak bom secara jarak jauh. Robot dikendalikan menggunakan *remote control* konvensional yang memerlukan pelatihan dan pengalaman bagi pengguna. *Remote control* konvensional memiliki bentuk dan tombol yang berbeda yang mengakibatkan pengguna memerlukan latihan yang berbeda. *Remote control* konvensional menyulitkan bagi pemula dalam mengoperasikan robot. Latihan dan pengalaman diperlukan untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan seperti salah kendali arah dan salah menekan tombol yang dapat berdampak mengganggu sistem yang dikendalikan bahkan berdampak timbulnya bahaya. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan *remote control* yang lebih bersahabat dengan pengguna yang dapat menggantikan *remote control* konvensional. Sistem sensor pemindai gerak tangan manusia adalah solusi untuk menggantikan *remote control* konvensional. Sistem sensor ini dapat mengendalikan lengan robot secara jarak jauh. Sistem sensor ini memiliki bentuk yang lebih bersahabat dengan pengguna yang memudahkan pengguna untuk mengendalikan lengan robot.

Tugas akhir ini adalah pengembangan dari alat yang telah dibuat sebelumnya. Alat yang sudah dibuat sebelumnya menggunakan sensor MPU dan setiap sendi lengan robot menggunakan servo. Tugas akhir ini memiliki perbedaan dari alat sebelumnya yaitu sebagian aktuator lengan robot menggunakan *pneumatic*. Pengembangan yang dilakukan yaitu memperhalus gerakan *pneumatic* tersebut. Gerakan *pneumatic* diperhalus dengan cara *pneumatic* di-*couple* dengan servo, sehingga aliran udara yang keluar dapat diatur bukaan besar kecilnya melalui servo. Servo berfungsi untuk mengatur besar kecilnya aliran *pneumatic* yang keluar, sehingga dapat memperhalus gerakan dari lengan robot tersebut.

Sistem *pneumatic* dianggap sebagai alat penggerak yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan motor servo. Keunggulan sistem *pneumatic* sebagai penggerak lengan robot dibandingkan dengan motor servo antara lain: keunggulan dalam hal kekuatan, keunggulan dalam hal ketahanan untuk peluang kesalahan instalasi, keunggulan dalam hal konsumsi energi listrik, dan keunggulan dalam hal kinematika. Dalam hal ini, penggerak digunakan untuk menggerakkan lengan robot seperti yang terdapat pada robot-robot pengambil benda, robot-robot pengelas dan pengecat di pabrik, dan sebagainya.

Selain menggunakan *pneumatic*, motor servo juga digunakan untuk menggerakkan beberapa bagian lengan robot serta untuk mengatur bukaan besar kecilnya angin yang keluar dari *pneumatic*. Motor servo adalah sistem penggerak yang banyak digunakan dalam membuat sebuah robot. Motor servo memiliki beberapa keunggulan, diantaranya yaitu dalam hal presisi dan dapat bergerak secara halus. Oleh karena itu, tugas akhir ini juga menggunakan servo sebagai sistem penggerak lengan robot. Kombinasi dari penggunaan *pneumatic* serta servo sebagai sistem penggerak lengan robot diharapkan dapat menghasilkan lengan robot yang lebih kuat serta halus pergerakannya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menggunakan sensor MPU?
2. Bagaimana alat yang akan diletakkan di tangan manusia?
3. Bagaimana cara memperhalus gerakan lengan robot yang menggunakan *pneumatic*?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pemindai gerak yang dibuat hanya pada bagian tangan kanan manusia.
2. Lengan robot yang dibuat berskala kecil, dengan kapasitas pengangkatan tidak lebih besar dari 1 kg.
3. Catu daya yang dapat digunakan antara lain: *Li-Po Battery* atau *power suplai*, dengan tegangan 24 volt.
4. Lengan robot yang dibuat berupa prototip.
5. Sistem yang dibangun tidak termasuk kompresor dan tangki udara, meskipun begitu, kompresor dan tangki udara disediakan dengan spesifikasi terbatas untuk pengujian.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian pada tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Mengakses sensor MPU.
2. Membuat alat pemindai gerak untuk diletakkan di lengan manusia.
3. Implementasi *air flow controller*, *coupling servo* dan kran *pneumatic* serta kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*).

### 1.5 Metodologi Penelitian

#### 1. Studi literatur

Pada tahap studi literatur dilakukan pembelajaran dari berbagai sumber-sumber ilmiah yang ada, seperti jurnal, artikel, buku dan lain sebagainya. Studi literatur ini dilakukan untuk menemukan teori-teori penunjang dalam tugas akhir ini. Sehingga dapat membantu menyelesaikan permasalahan yang ada pada tugas akhir ini.

#### 2. Perancangan sistem

##### a. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras meliputi perancangan pembuatan lengan robot yang akan menggunakan sistem penggerak servo dan *pneumatic*. Selain perancangan lengan robot, dilakukan pula perancangansistem sensor yang dapat digunakan di lengan manusia, yaitu berupa gelang.

b. Perancangan perangkat lunak

Perancangan perangkat lunak meliputi proses pembacaan sensor. Kemudian membuat algoritma program untuk mengsinkronisasi gerak lengan manusia dengan lengan robot, serta membuat algoritma menggerakkan *coupling* servo sehingga dapat menggerakkan *pneumatic* dengan baik. Kemudian implementasi kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*).

### **3. Pengujian sistem**

Pengujian alat ini dilakukan untuk menentukan keandalan dari sistem yang telah dirancang. Pengujian dilakukan untuk melihat apakah *software* dan *hardware* dapat berkerja dengan baik. Pengujian dilakukan dalam beberapa tahap. Pertama adalah pengujian sensor-sensor yang digunakan. Kedua adalah pengujian gerakan lengan robot. Ketiga adalah pengujian algoritma pengiriman data sehingga dapat mengirim serta menerima data. Keempat adalah pengujian *coupling* servo untuk menggerakkan kran *pneumatic*. Yang terakhir adalah pengujian sistem alat pemindai gerak lengan untuk menggerakkan lengan robot.

### **4. Analisa**

Analisa dilakukan terhadap hasil dari pengujian sehingga dapat mengetahui karakteristik dari alat yang telah dibuat. Analisa ini juga dapat mengetahui kekurangan dari alat yang dibuat. Kekurangan yang ada dari alat setelah melakukan percobaan dapat dianalisa dan diperbaiki, sehingga kekurangan dari alat akan diperbaiki dan akan menghasilkan alat yang lebih baik.

### **5. Penyusunan laporan tugas akhir**

Tahap penulisan laporan tugas akhir adalah tahapan terakhir dari proses pengerjaan tugas akhir ini. Laporan tugas akhir berisi seluruh hal yang berkaitan dengan tugas akhir yang telah dikerjakan yaitu meliputi pendahuluan, teori penunjang, perancangan sistem, pengujian, dan penutup.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Dalam buku tugas akhir ini, membahas mengenai sistem yang dibuat dibahas dalam 5 bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

- **BAB 1: PENDAHULUAN**

Pada Bab ini berisi hal-hal meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan serta relevansi dan manfaat.

- **BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI PENUNJANG**

Bab ini berisi tentang teori penunjang serta literatur dari berbagai sumber baik dari jurnal, buku, atau internet yang dapat menunjang pengerjaan tugas akhir ini.

- **BAB 3: PERANCANGAN SISTEM**

Bab ini menjelaskan tentang perencanaan sistem elektrik, mekanik, serta perangkat lunak. Bab ini juga berisi menjelaskan tentang prosedur pengujian yang dilakukan dalam penelitian.

- **BAB 4: PENGUJIAN**

Bab ini berisi tentang pengujian sistem yang telah dibuat beserta analisa dari hasil pengujian tersebut.

- **BAB 5: PENUTUP**

Bab ini adalah bagian yang berisikan kesimpulan yang diperoleh dari pengerjaan tugas akhir serta saran-saran untuk pengembangan riset lebih lanjut.

## **1.7 Relevansi dan Manfaat**

Hasil dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai inovasi teknologi pengendali lengan robot menggunakan kendali lengan manusia. Untuk pengembangan lebih jauh dapat digunakan untuk membantu petugas penjinak bom untuk menjinakkan bom.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

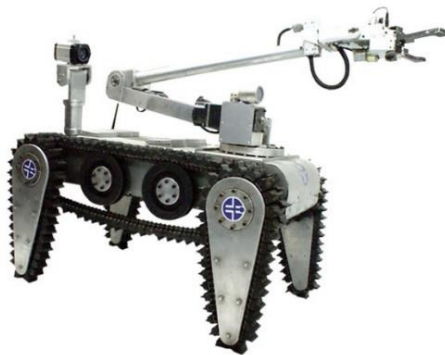
Pada bab ini akan menjelaskan tentang penelitian-penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya dan menjelaskan tentang teori-teori penunjang yang terkait dengan tugas akhir ini.

#### **2.1 Penelitian Terkait**

Penelitian terkait bertujuan untuk membandingkan perangkat teknologi yang telah ada dengan perangkat teknologi yang dirancang pada tugas akhir ini. Penelitian terkait mencakup *mobile robot* yang telah ada, sistem pengendali robot tersebut, dan sensor yang digunakan.

##### **2.1.1 Robot Morolipi V.1 dan Morolipi V.2**

Robot morolipi adalah robot penjinak bom yang dikembangkan oleh LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia). Robot morolipi yang telah digunakan adalah robot morolipi V.1 dan robot morolipi V.2. Robot morolipi V.1 memiliki dimensi 1 meter x 1 meter x 0.9 meter (panjang x lebar x tinggi). Dengan bobot robot seberat 100 kg. Robot morolipi V.2 memiliki dimensi yang lebih kecil dan lebih ringan serta dilengkapi empat *flippers* yang dapat bergerak *independent* yang membuat robot lebih fleksibel untuk menaiki tangga dengan *slope* 45 derajat.



**Gambar 2. 1** Robot morolipi yang dikembangkan oleh LIPI [7]



**Gambar 2.2** Pengendali robot morolipi V.2 [7]

*Mobile robot* ini memiliki lengan dengan 5 derajat kebebasan yang dapat dikontrol secara manual tiap-tiap *joint*. Dilengkapi dengan *gripper* yang dapat memotong kabel setebal 2 mm. Kemampuan untuk mengangkat objek yang terbilang rendah, hanya mampu mengangkat 150 gram. Sedangkan jarak transmisi untuk mengemalkan robot adalah 6 km. Ketelitian pergerakan robot dan lengannya sangat bergantung pada keahlian dari operator [1].

Beberapa kekurangan yang dimiliki oleh robot morolipi V.1 dan V.2 adalah sebagai berikut:

1. Bobot robot 100 kg dapat memperlambat manuver pergerakan robot.
2. Dimensi robot terbilang besar sedangkan pada pengujian hanya mampu mengangkat 150 gram dan memotong kabel setebal 2mm.
3. Sistem kendali robot dengan *remote control* yang memiliki intepretasi yang sangat buruk dengan kendali manual tiap-tiap *joint*. Sehingga sangat terpengaruh pada keahlian operator dalam mengendalikan robot [1].

### **2.1.2 Robot-arm controller using LEAP motion controller**

*Leap motion controller* adalah teknologi yang sudah dikembangkan untuk menghitung pergerakan tangan manusia dan menggerakkan lengan robot yang diciptakan oleh Microsoft *Research*. Pergerakan tangan dipindai menggunakan sensor LED (*Light Emitting Diode*) inframerah dengan cakupan sudut 140-150 derajat dan dua buah kamera dengan kecepatan 200 FPS (*Frame per Second*) [8].



**Gambar 2. 3** *leap motion controller* [8]

Perbedaan perangkat tersebut dengan alat yang diciptakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sensor untuk memindai berupa kamera dan sensor LED infra merah. Sedangkan pada tugas akhir ini menggunakan sensor MPU6050 dan HMC5883L.
2. Untuk mendapatkan posisi gerakan lengan menggunakan *image processing* dengan membutuhkan perangkat laptop. Sedangkan pada tugas akhir ini menggunakan analisa geometri berdasarkan sudut-sudut setiap sendi lengan manusia.
3. Sistem komunikasi pengiriman data menggunakan kabel. Sedangkan pada tugas akhir ini, dirancang menggunakan *Bluetooth* HC-05 untuk dapat dikendalikan pada jarak 100 meter.
4. Sensor tidak diletakkan di tangan penggunanya. Sedangkan pada tugas akhir ini, sensor diletakkan pada setiap sendi yang mempengaruhi perpindahan gerak.
5. Penggerak lengan robot menggunakan motor. Sedangkan pada tugas akhir ini, penggerak lengan robot yang digunakan adalah motor servo dan *pneumatic*.

### 2.1.3 Pemindai Gerak Tangan Manusia menggunakan Akselerometer dan Sensor Giroskop



**Gambar 2. 4** Pemindai gerak tangan manusia [1]

Pemindai gerak tangan manusia menggunakan akselerometer dan sensor giroskop adalah penelitian yang dilakukan oleh Mochammad Fajar Rinaldi Utomo, mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penelitian ini adalah penelitian mengenai pembuatan alat pemindai gerak tangan manusia. Alat pemindai gerak tangan manusia yang digunakan berupa gelang yang terbuat dari 3D *printer*. Sensor yang digunakan pada penelitian ini yaitu Sensor IMU 10 dof (*degree of freedom*). Data yang digunakan adalah data akselerometer dan giroskop.

Beberapa kekurangan yang dimiliki oleh pemindai gerak tangan manusia ini adalah sebagai berikut:

1. Memiliki *latency* 0.2 detik
2. Memiliki kesalahan 3% kinematika maju
3. Memiliki kesalahan 12% kinematika mundur
4. Memiliki perbedaan waktu saat pengguna menggerakkan tangan dan lengan robot melakukan pergerakan rata-rata sebesar 0,4 detik

5.



**Gambar 2. 5** Lengan robot [1]

Perbedaan perangkat tersebut dengan alat yang diciptakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sensor untuk memindai sensor IMU 10 dof (*degree of freedom*). Sedangkan pada tugas akhir ini menggunakan sensor MPU6050 dan HMC5883L.
2. Semua sistem penggerak menggunakan motor servo. Sedangkan pada tugas akhir ini bagian hasta dan *elbow* menggunakan sistem penggerak *pneumatic*.
3. Sistem komunikasi pengiriman data menggunakan *telemetry*. Sedangkan pada tugas akhir ini, dirancang menggunakan *Bluetooth* HC-05 untuk dapat dikendalikan pada jarak 100 meter.
4. Dimensi lengan robot 75cm x 55cm x 64cm, sedangkan pada tugas akhir ini dimensi lengan robot adalah 77cm x 34cm x 43cm.
5. Bobot lengan robot adalah 1,15 kg, sedangkan pada tugas akhir ini memiliki bobot 4,2 kg.

### 2.1.4 Lengan Robot *Pneumatic*



**Gambar 2. 6** Lengan Robot *Pneumatic* [2]

Penelitian mengenai lengan robot *pneumatic* adalah salah satu penelitian yang dilakukan oleh David Cesar, mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penelitian ini mengenai pembuatan lengan robot yang menggunakan sistem penggerak *pneumatic*. Lengan robot dibuat menggunakan 3D *printer*. Lengan robot memiliki dimensi 77cm x 34cm x 43cm. Lengan robot memiliki bobot 4,2 kg.

Beberapa kekurangan yang dimiliki oleh lengan robot *pneumatic* ini adalah sebagai berikut:

1. Pergerakan *pneumatic* tidak halus dan tidak dapat berhenti ditengah-tengah.
2. Posisi sudut lengan yang digerakkan dengan sistem pneumatik memiliki galat sebesar  $\pm 1,265^\circ$ .

Perbedaan perangkat tersebut dengan alat yang diciptakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pergerakan lengan robot menggunakan *remote control*, sedangkan pada tugas akhir ini menggunakan pemindai gerak tangan.
2. Sistem untuk menggerakkan *pneumatic* menggunakan *valve*, sedangkan pada tugas akhir ini menggunakan *coupling servo*.

### **2.1.5 Media Interaksi Manusia-Robot Berbasis Sensor *Accelerometer* dan *Flex* (Khusus Gerak Tangan dan Lengan)**

Penelitian interaksi manusia-robot berbasis sensor *Accelerometer* dan *Flex* (Khusus Gerak Tangan dan Lengan) adalah penelitian yang dilakukan oleh Muhamad Yusvin M, mahasiswa Universitas Gajah Mada. Penelitian ini mengenai penggunaan sensor *accelerometer* dan *flex* yang digunakan untuk memodelkan setiap bentuk interaksi manusia-robot yang dapat mengikuti gerakan. Sensor *accelerometer* yang digunakan adalah jenis ADXL335 dan sensor *flex* yang digunakan adalah sensor *flex* jenis 4,5”.

Hasil uji coba sensor sebagai media interaksi manusia-robot, menunjukkan bahwa sensor *accelerometer* jenis ADXL335 memiliki keluaran (output) yang dapat di orientasikan sebagai pendeteksi gerak lengan bawah dan tangan manusia, hal ini dikarenakan sensor *accelerometer* mampu membaca grafitasi dari setiap bentuk gerak melalui sumbu X, Y dan Z dengan rotasi pendeteksian gerak membentuk sudut 0° hingga 180°, sedangkan untuk sensor *flex* jenis 4,5” memiliki keluaran yang dapat diorientasikan sebagai pendeteksian jari telunjuk dengan melakukan pembacaan pada setiap bentuk lekukan sensor berdasarkan pada nilai resistansi sensor yang membentuk sudut 0° hingga 90° [20] .

### **2.1.6 Kajian Pergerakan Robot Lengan Menggunakan Sistem Pneumatik dengan 4DOF dan Beban Maksimum 9 kg**

Kajian Pergerakan Robot Lengan Menggunakan Sistem Pneumatik dengan 4DOF dan Beban Maksimum 9 kg adalah penelitian yang dilakukan oleh Satria Wijaya dan Agung Prijo Budijono, mahasiswa Universitas Negeri Surabaya. Penelitian ini termasuk jenis simulasi yang dilakukan untuk menganalisa kinerja robot lengan 4DOF dengan beban maksimal 9kg dan menggunakan penggerak pneumatik berbasis sistem FluidSIM. Gaya yang bekerja pada silinder 1 (*base*) robot lengan 130kgf, silinder 2 (*body*) 115kgf, silinder 3 (*arm*) 105kgf dan silinder 4 (*gripper*) 95kgf. Dengan 4 buah silinder tersebut, kapasitas udara yang dibutuhkan pada saat silinder maju adalah 43.35 liter dan mundur 7.77 liter, jadi total kapasitas udara untuk 1 kali kerja sistem pneumatik ini adalah 51.12 liter.

### **2.1.7 Pengendalian Lengan Robot Pneumatik Pemindah Plat Melalui *Bluetooth* dengan *Handphone* Berteknologi Java.**

Pengendalian Lengan Robot Pneumatik Pemindah Plat Melalui *Bluetooth* dengan *Handphone* Berteknologi Java adalah penelitian yang dilakukan oleh Edi Sunardi, Sumardi dan Maman Somantri, mahasiswa Universitas Diponegoro. Tujuan dari penelitian ini adalah mengimplementasikan sistem teleoperasi melalui *Bluetooth* pada pengendalian *plant* lengan robot pneumatic pemindah plat menggunakan PLC (*Programmable Logic Controller*). Pengendalian dilakukan melalui *handphone* yang dibangun dengan menggunakan teknologi *Java 2 Micro Edition* yang didukung dengan teknologi *bluetooth*. Lengan robot pneumatik pemindah plat memiliki 3 derajat kebebasan. Perangkat keras lengan robot *pneumatic* menggunakan 3 buah silinder kerja ganda dan sebuah generator vakum sebagai aktuatornya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa hasil sebagai bahwa jarak koneksi *bluetooth* yang dapat dilakukan adalah rata – rata 35,73 meter untuk koneksi tanpa halangan dan 14,6 meter dengan adanya halangan.

### **2.1.8 Pengaturan Posisi Piston Silinder *Pneumatic* Pada Lengan Robot KRAI**

Pengaturan Posisi Piston Silinder Pneumatic Pada Lengan Robot KRAI adalah penelitian yang dilakukan oleh Wahyu Suwito, mahasiswa Universitas Brawijaya. Penelitian ini bertujuan agar piston *pneumatic* dapat berhenti pada posisi yang diinginkan. Penelitian ini menggunakan sensor *ultrasonic*. Bahan dasar pembuatan lengan robot ini adalah alumunium kotak berukuran 2,5 cm x 2,5 cm, dan alumunium dengan tebal 3 mm sebagai dudukan silinder *pneumatic*.

Silinder *pneumatic* yang digunakan memiliki ukuran diameter 2 cm dan panjang 30 cm. Pada awal program masukkan jarak yang diinginkan melalui *keypad*. Langkah selanjutnya sensor *ultrasonic* PING membandingkan jarak dari keypad dengan jarak yang terbaca. Jika tidak sama valve aktif sehingga piston silinder *pneumatic* bergerak sampai jarak yang terbaca pada sensor ultrasonic PING sama dengan jarak yang dimasukkan dari *keypad*, jika sudah sama antara jarak yang terbaca oleh sensor PING dengan jarak dari *keypad* valve *off* dan program selesai [22].



## 2.2 Silinder *Pneumatic*



**Gambar 2.7** Silinder *pneumatic* [2]

*Pneumatic* adalah sebuah sistem penggerak yang menggunakan tekanan udara sebagai tenaga penggerak. Silinder *pneumatic* dapat menghasilkan gerak bolak-balik secara linier atau gerakan keluar-masuk. Sistem kerja *pneumatic* pada dasarnya adalah mengkonversi tekanan udara atau energi potensial udara menjadi energi gerak atau kinetik. *Pneumatic* mengalirkan tekanan udara untuk menghasilkan gerak. Aliran tekanan udara ini dapat bekerja dari satu sisi kemudian akan menghasilkan gerakan, apabila aliran tekanan udara dialirkan menuju sisi yang berbeda, maka akan menghasilkan gerakan yang sebaliknya.

Dalam pengoperasiannya, silinder *pneumatic* dikontrol oleh katup atau *valve* pengontrol. Katup pengontrol ini berfungsi mengontrol arah udara yang akan masuk ke tabung silinder. Namun pada tugas akhir ini, arah udara yang masuk ke tabung silinder tidak dikontrol oleh *valve* pengontrol melainkan menggunakan servo yang sudah di-*couple* oleh kran angin, sehingga bukaan dari kran tersebut yang akan menentukan arah aliran tekanan angin yang masuk ke silinder.

Ada beberapa macam jenis silinder *pneumatic*, diantaranya:

- *Double acting pneumatic cylinder*,
- *Single acting pneumatic cylinder*, dan
- *Telescopic pneumatic cylinder*.

Dalam tugas akhir ini, menggunakan silinder *pneumatic* jenis *double acting pneumatic cylinder* dengan model MA6432 10X50 merek SACHIO. Jumlah silinder *pneumatic* yang digunakan pada tugas akhir ini sebanyak 3 buah. Silinder *pneumatic* memiliki konstruksi yang kuat dan instalasi yang sederhana.

### 2.3 Tangki Udara



**Gambar 2.8** Tangki Udara

Tangki udara berfungsi untuk menampung udara yang mengalir dari kompresor, kemudian udara yang ditampung akan dialirkan menuju *pneumatic* yang sudah terpasang melalui selang *pneumatic*. Selain untuk menampung udara dari kompresor, tangki udara juga berfungsi untuk meningkatkan tekanan udara. Peningkatan tekanan udara dipengaruhi antara lain oleh volume udara. Persamaan hubungan antara tekanan udara dengan volumenya antara lain:

$$pv = nRT \quad (2.1)$$

$p$ : tekanan udara

$v$ : volume udara

$n$ : jumlah partikel udara

$R$ : konstanta gas ideal  $0,08205 \text{ L atm/mol K}$

$T$ : temperatur udara

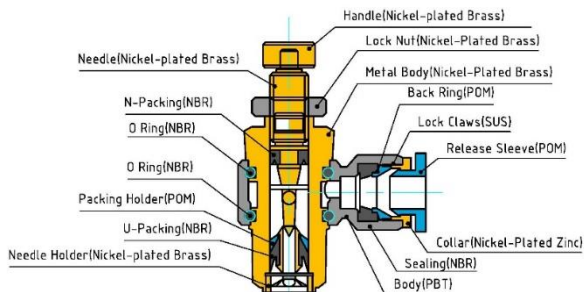
Dengan pengaliran udara (oleh kompresor) dalam debit dan durasi tertentu ke dalam ruang tertutup yang volumenya tetap, terjadi peningkatan jumlah partikel udara dalam volume tetap sehingga terjadi pula peningkatan tekanan udara. Proses ini disebut sebagai proses isokhorik [2]. Tangki udara yang digunakan pada tugas akhir ini adalah modifikasi botol dengan volume 3 liter sebanyak tiga buah. Pada tangki udara ini juga diletakkan barometer sebagai penanda tekanan udara yang tertampung, serta diletakkan sensor mpx5700ap agar tekanan dalam botol stabil pada tekanan 40 psi.

## 2.4 Pneumatic Air Flow Speed Controller



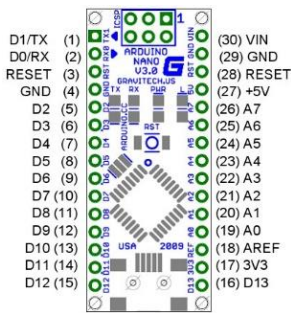
**Gambar 2.9** *Pneumatic air flow speed controller*

*Pneumatic air flow speed controller* adalah komponen yang digunakan untuk mengatur kecepatan tekanan aliran udara pada *pneumatic*. *Pneumatic air flow speed controller* berfungsi untuk memperhalus gerakan pada *pneumatic*. Prinsip dasar kerja *pneumatic air flow speed controller* adalah membatasi aliran udara dengan menggunakan *adjuster* sekrup, ketika sekrup diputar ke katup, maka mulai menghambat saluran udara dan mengurangi laju aliran udara. Pembatasan ini aktif hanya dalam satu arah. Dalam tugas akhir ini menggunakan *pneumatic air flow speed controller* sebanyak 6 buah dan diletakkan di setiap *pneumatic*.



**Gambar 2.10** Bagian-bagian *Pneumatic air flow speed controller* [19]

2.5     **Arduino Nano**



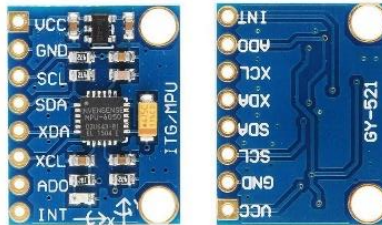
**Gambar 2. 11** Arduino Nano [1]

Arduino nano adalah sebuah *mini board* berbasis mikrokontroler Atmega328. Arduino nano memiliki 14 pin digital *input/output* (pin 0-13) yang terdiri dari 8 pin *input* analog (pin 0-7) yang biasa digunakan untuk membaca tegangan dari sensor dan mengkonversikannya menjadi nilai 0 dan 1023, 6 pin *output* analog (pin 3, 5, 6, 9, 10, 11) yang digunakan untuk pengaturan PWM (*Pulse Width Modulation*), sebuah osilator kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah ICSP *header*, dan sebuah tombol *reset*. Arduino nano dapat dioperasikan dengan menggunakan *port* USB komputer, USB *charger*, atau adaptor AC-DC dengan tegangan yang direkomendasikan 7-12 Volt [1]. Spesifikasi Arduino Uno dijelaskan pada tabel 2. 1.

**Tabel 2. 1** Spesifikasi Arduino Nano Atmega328

Microcontroller	Atmega328
Operating Voltage	5 V
Input Voltage	7-12 V
Digital I/O Pins	14 (6 PWM Outputs)
Analog Input Pins	8
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3 V pin	50 mA
Flash Memory	32 Mbyte (Atmega328)
SRAM	2 KB (Atmega328)
EEPROM	512 byte (Atmega328)
Clock Speed	16 MHz

## 2.6 Sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*)



**Gambar 2. 12** Sensor MPU6050 GY-521 [12]

IMU adalah singkatan dari *Inertial Measurement Unit*. Sensor IMU digunakan untuk mengukur sudut *roll*, sudut *pitch*, dan sudut *yaw*. Ketiga sudut ini biasanya digunakan untuk menentukan orientasi dari sebuah pesawat udara saat terbang relatif terhadap bumi. Sensor IMU memerlukan sensor-sensor seperti *gyroscope*, *accelerometer*, serta *magnetometer*. Oleh sebab itu IMU adalah suatu rangkaian elektronik yang terdiri dari sensor *gyroscope* 3 sumbu, sensor *accelerometer* 3 sumbu, dan sensor *gyroscope* 3 sumbu. Dengan pendekatan ketiga sudut (*roll*, *pitch*, *yaw*) ke sudut Euler maka akan didapatkan nilai kartesian dari sudut-sudut pada sumbu x, sumbu y, dan sumbu z.

Pada tugas akhir ini menggunakan sensor MPU6050. Jumlah sensor yang digunakan pada tugas akhir ini sebanyak 2 buah sensor. Spesifikasi dari sensor MPU6050 yang digunakan pada tugas akhir ini dijelaskan pada tabel 2. 2.

**Tabel 2. 2** Spesifikasi sensor MPU6050

Power Suplai	3 - 5 V
Chip Sensor	MPU6050
Interface	I2C
Accelerometer	1. Resolution : 16 bits 2. Range of Measurement : $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$ G
Gyroscope	1. Resolution : 16 bits 2. Range of Measurement : $\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000^\circ/\text{sec}$

## 2.7 Sensor HMC5883L



**Gambar 2. 13** Sensor HMC5883L

Sensor HMC5883L adalah sebuah modul yang digunakan untuk menunjukkan arah mata angin digital, atau juga disebut kompas digital. Modul ini dikenal pula dengan modul kompas GY-273 yang adalah IC (*Integrated Circuit*) kompas digital 3 axis yang memiliki *interface* berupa 2 pin I2C. HMC5883L memiliki sensor *magneto-resistive* HMC118X series ber-resolusi tinggi, ditambah ASIC dengan konten *amplification*, *automatic degaussing strap driver*, *offset cancellation* dan 12 bit ADC (*Analog to Digital Converter*) yang memungkinkan keakuratan kompas mencapai 1 sampai 2 derajat. Modul ini umumnya digunakan untuk keperluan sistem navigasi otomatis, *mobile phone*, netbook dan perangkat navigasi personal.

## 2.8 Motor Servo



**Gambar 2.14** Motor servo MG996 [18]

Motor servo adalah sistem penggerak yang dapat dikontrol dengan suatu sudut perputaran atau perpindahan linear. Servo dikontrol menggunakan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Motor servo terdiri dari serangkaian gir, sebuah motor DC, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan sudut putar motor. Kecepatan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa. Motor servo pada umumnya dapat dikontrol mulai dari sudut 0 sampai 180 derajat.

Motor servo memiliki beberapa kelebihan serta kekurangan. Kelebihan servo diantaranya adalah kecepatannya dapat diatur, sudut motor servo dapat dihitung dengan mudah, serta lebih presisi. Selain kelebihan, terdapat beberapa kekurangan Motor servo, diantaranya adalah harganya yang mahal, tidak kuat untuk menggerakkan beban berat, serta kekutan putarnya tergantung dengan seberapa besar torsi dan jenis motor servo. Torsi yang tidak begitu besar dari motor servo terkadang dapat mengakibatkan perubahan pada konstruksi lengan robot yang telah dibangun.

Pada tugas akhir ini menggunakan jenis motor servo MG996 dengan jumlah total servo sebanyak 8 buah servo. 1 servo untuk mengontrol tekanan angin, 4 servo untuk menggerakkan *pneumatic* yang sudah di-*couple* dengan kran *pneumatic*, serta 3 servo masing-masing untuk menggerakkan sendi lengan robot.

## 2.9 Potensiometer



**Gambar 2. 15** Potensiometer [2]

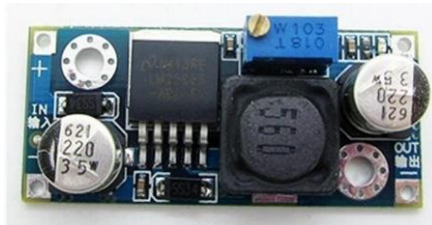
Potensiometer adalah jenis *resistor* yang nilai tahanannya atau hambatannya dapat dirubah. Potensiometer pada dasarnya berfungsi sebagai pembagi tegangan variabel. Berdasarkan cara pengubahan nilai tahanan, potensiometer dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain:

- Potensiometer putar
- Potensiometer geser
- *Trimmer* potentiometer

Pada tugas akhir ini, potensiometer yang digunakan adalah potensiometer Violet Electric Co.Ltd. RA28Y putar dengan tahanan maksimum 5K, yang diletakkan pada persendian lengan dan berjumlah 2 buah.

## 2.10 LM2596 DC-DC Converter

LM2596 DC-DC Converter adalah modul konverter DC ke DC (DC-DC Converter) yang menggunakan *Integrated Circuit* (IC) LM2596S dan berfungsi untuk mengubah tingkatan tegangan (*voltage level*) arus searah / *Direct Current* (DC) menjadi lebih rendah dibanding tegangan masukannya. Tegangan masukan (*input voltage*) dapat dialiri tegangan antara 3 Volt hingga 40 Volt DC, yang akan diubah menjadi tegangan yang lebih rendah di antara 1,5 Volt hingga 35 Volt DC. Besar arus yang dapat ditangani modul elektronika ini sebesar  $\pm 1,5A$  dengan arus puncak 3A. Tegangan keluaran yang diinginkan dapat disetel dengan memutar sekrup pada *multiturn* (sekrup kuning pada komponen elektro yang berwarna biru).



**Gambar 2. 16** LM2596 DC-DC Converter



## 2.11 Sensor *Flex*

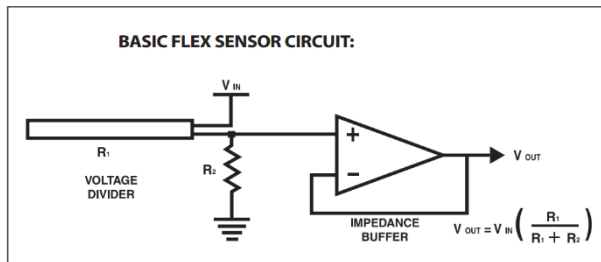


**Gambar 2. 17** Sensor *flex* [10]

Sensor *flex* adalah sensor yang dapat mendeteksi kelengkungan. Prinsip kerjanya sama seperti resistor variabel. Untuk menggunakan sensor *flex* harus menggunakan rangkaian pembagi tegangan agar nilai perubahan kelengkungan dapat terbaca di mikrokontroler. Kelengkungan dari *flex sensor* berbanding lurus dengan kenaikan hambatan yang dihasilkan *flex sensor* [1].

Dengan perubahan nilai tegangan tersebut dapat dikonversi ke data ADC (*Analog to Digital Conversion*) dengan mengikuti persamaan

$$\text{Data ADC} = \frac{V_{in \text{ Analog}}}{5} \times 1024 \quad (2.2)$$



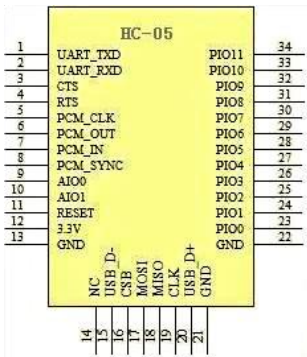
**Gambar 2. 18** Rangkaian untuk mengakuisisi data sensor *flex* [10]

2.12 Modul *Bluetooth* HC-05

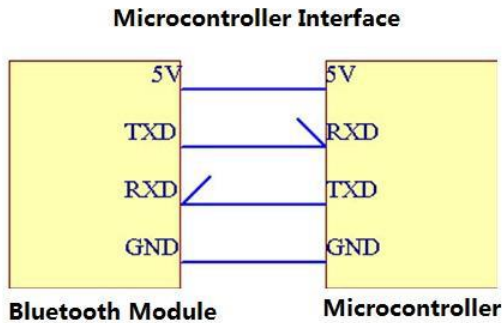


Gambar 2. 19 *Bluetooth* HC-05

*Bluetooth* adalah protokol komunikasi *wireless* yang bekerja pada frekuensi radio 2.4 GHz untuk pertukaran data pada perangkat bergerak seperti PDA, laptop, HP, dan lain-lain [3]. Salah satu hasil contoh modul *Bluetooth* yang paling banyak digunakan adalah tipe HC-05. modul *Bluetooth* HC-05 adalah salah satu modul *Bluetooth* yang dapat ditemukan dipasaran dengan harga yang relatif murah. Modul *Bluetooth* HC-05 terdiri dari 6 pin konektor, yang setiap pin konektor memiliki fungsi yang berbeda-beda. Berikut adalah konfigurasi pin bluetooth HC-05 ditunjukkan pada gambar 2. 20 dibawah ini:



Gambar 2. 20 Konfigurasi pin HC-05 [4]



**Gambar 2. 21 Bluetooth-to-Serial-Module HC-05 [5]**

Modul *Bluetooth* HC-05 adalah modul *Bluetooth* yang dapat menjadi *slave* ataupun *master*, hal ini dibuktikan dengan dapat memberikan notifikasi untuk melakukan *pairing* keperangkat lain, maupun perangkat lain tersebut yang melakukan *pairing* ke modul *bluetooth* HC-05. Untuk menyetel perangkat *bluetooth* dibutuhkan perintah-perintah *AT Command* yang mana perintah *AT Command* tersebut akan direspon oleh perangkat *bluetooth* jika modul *bluetooth* tidak dalam keadaan terkoneksi dengan perangkat lain. Tabel 2. 4 di bawah adalah tabel *AT Command* modul *bluetooth* HC-05. Keterangan *AT Command* modul *bluetooth* HC-05 dapat dilihat pada tabel 2. 4 berikut:

**Tabel 2. 3 Konfigurasi pin modul *bluetooth* HC-05 [6]**

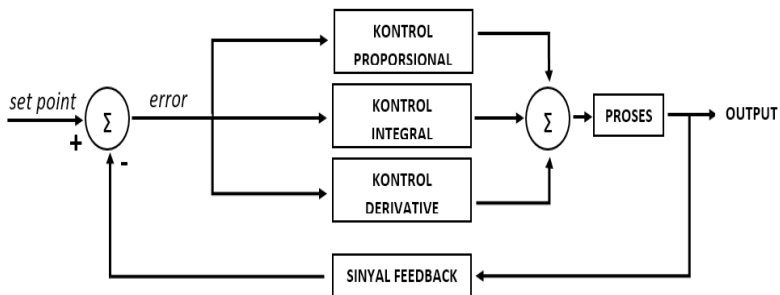
No.	Nomor Pin	Nama	Fungsi
1.	Pin 1	Key	-
2.	Pin 2	VCC	Sumber tegangan 5V
3.	Pin 3	GND	Groud tegangan
4.	Pin 4	TXD	Mengirim data
5.	Pin 5	RXD	Menerima data
6.	Pin 6	STATE	-

**Tabel 2. 4** *AT Command* modul *bluetooth* HC-05 [6]

No	Perintah	Kirim	Terima	Keterangan
1.	Test Komunikasi	AT	ON	-
2.	Ganti Nama Bluetooth	AT+NAMEnamaBT	OKnamaBT	-
3.	Ubah Pin Code	AT+PINxxxx	OKsetpin	Xxxx digit key
4.	Ubah Baudrate	AT+BAUD1 AT+BAUD2 AT+BAUD3 AT+BAUD4 AT+BAUD5 AT+BAUD6	OK1200 OK2400 OK4800 OK9600 OK19200 OK38400	1 — 1200 2 — 2400 3 — 4800 4 — 9600 5 — 19200 6 — 38400 7 — 57600 8 — 115200

### 2.13 Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*)

Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) adalah kontrol yang digunakan untuk menentukan presisi suatu sistem dengan menggunakan nilai umpan balik pada sitem tersebut. Kontrol PID terdiri dari tiga komponen, yaitu komponen *Proporsional* (P), komponen *Integral* (I) dan komponen *Derivative* (D). Ketiga komponen ini saling melengkapi satu sama lain. Pada tugas akhir ini, nilai *set point* yang digunakan adalah nilai dari potensiometer, sedangkan nilai aktualnya adalah nilai dari sensor.



**Gambar 2. 22** Diagram blok PID

### 2.13.1 Komponen *Proporsional*

Komponen P (*Proporsional*) mengeluarkan sinyal kontrol yang besarnya proporsional atau sebanding terhadap besarnya *error*. Secara matematis, pengontrol P dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$u(t) = K_p * error(t) \quad (2.3)$$

$K_p$  adalah suatu bilangan yang menyatakan penguatan *proporsional* dari pengontrol P. Istilah yang umum digunakan adalah *Proportional Band* (PB). Sedangkan  $e(t)$  adalah besarnya kesalahan atau *error* yang terjadi pada waktu  $t$ . Sinyal *error* tersebut diakibatkan oleh selisih antara *set point* (besaran yang diinginkan) dengan keluaran aktual proses. Sinyal *error* tersebut akan mempengaruhi aksi pengontrol dalam mengeluarkan sinyal kontrol untuk menggerakkan aktuator. Pengaruh komponen  $K_p$  adalah memperkecil konstanta waktu sehingga sistem menjadi lebih sensitif dan mempunyai respons yang lebih cepat. Dengan mengubah-ubah besaran  $K_p$ , maka akan mempengaruhi *offset* atau *steady state error*.

### 2.13.2 Komponen *Integral*

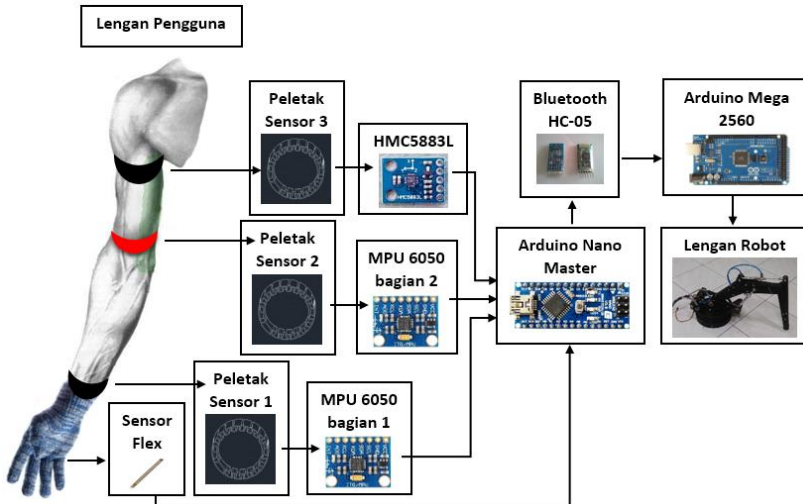
Komponen *integral* berfungsi untuk menghilangkan *offset* untuk kondisi beban atau gangguan yang berubah. Aksi *integral* umumnya disebut *automatic reset* (*automatic bias setting*). Pengontrol P akan memberikan aksi kontrolnya apabila ada masukan sinyal kesalahan. Aksi integral akan menyebabkan akan menyebabkan pengontrol untuk mengeluarkan sinyal kontrol yang sebanding dengan besarnya *error*. Pengontrol akan terus mengeluarkan sinyal, walaupun *error* telah mencapai nol. Komponen *integral* dinyatakan dengan suku yang mengandung integral *error* terhadap waktu dan mengandung komponen  $T_i$  (*integral time*).  $T_i$  menunjukkan lamanya waktu yang diperlukan agar *output* ( $u(t)$ ) sama dengan *input* ( $e(t)$ ).

### 2.13.3 Komponen *Derivative*

Pada dasarnya, pengontrol PI saja tidak cukup untuk menghasilkan respons pengontrol yang lebih cepat. Oleh karena itu, masih diperlukan skema pengontrolan yang dapat memberikan respons pengontrol yang lebih cepat. Pengontrol PI lebih lambat karena komponen I harus menunggu dalam selang waktu tertentu agar dapat mengeluarkan *output*. Penggunaan komponen D, yang dinyatakan dengan besaran  $T_d$  (*derivative time*) berbanding lurus dengan besarnya *output* pengontrol. Komponen D tidak dapat berdiri sendiri, karena komponen D memerlukan *input* agar dapat mengeluarkan *output*. Untuk itu komponen D umumnya dikombinasikan dengan P dan PI. Akan tetapi, komponen D tidak dapat digunakan untuk *Process Variable* yang beriak (mengandung banyak *noise*). Sehingga didalam aplikasinya, pengontrol PD atau PID tidak sebanyak pengontrol P atau PI [16].

### BAB III

## PERANCANGAN SISTEM



**Gambar 3. 1** Skema Sistem Keseluruhan

Rancang bangun sistem sensor pemindai gerak tangan manusia ini tergabung dalam satu sistem yang terdiri dari pemindai gerak tangan manusia dan lengan robot seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.1 di atas. Pemindai gerak tangan manusia terdiri dari 1 sensor *flex* yang diletakkan pada jari yang sudah terpasang sarung tangan, 2 sensor MPU6050 yang terletak pada peletak sensor 1 dan peletak sensor 2 serta 1 sensor HMC5883L yang terletak pada peletak sensor 3. Pemindai gerak tangan manusia dengan lengan robot terhubung secara *wireless* menggunakan modul *Bluetooth* HC-05. Pengguna dapat mengoperasikan lengan robot dari jarak jauh. Lengan robot terdiri dari 4 bagian utama, yaitu bagian *Gripper*, bagian hasta, bagian *elbow* dan bagian *base*. Bagian *gripper* digerakkan oleh sensor *flex*, bagian hasta digerakkan oleh sensor MPU6050 bagian 1, bagian *elbow* digerakkan oleh sensor MPU6050 bagian 2 serta bagian *base* digerakkan oleh sensor HMC5883L.

Karena lengan robot tujuannya agar dapat mengambil benda dengan beban tertentu, maka lengan robot dilengkapi dengan aktuator *pneumatic*. *Pneumatic* berjumlah 3 buah, 1 *pneumatic* diletakkan pada bagian hasta untuk menggerakkan hasta, serta 2 *pneumatic* diletakkan pada bagian *elbow* untuk menggerakkan *elbow*. Karena *pneumatic* membutuhkan tekanan angin dalam pengoperasiannya, maka terdapat pula tangki udara berjumlah 3 buah dari bahan botol bekas yang digunakan untuk menyimpan tekanan udara dari kompresor serta terdapat *stabilizer* tekanan angin pada tangki udara sehingga udara tetap berapa pada tekanan yang tetap. Tekanan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah 40 psi (*pound per square inch*). Kemudian terdapat servo yang telah di-*couple* dengan kran *pneumatic* yang bertujuan untuk memperhalus gerakan *pneumatic*. Spesifikasi dari lengan robot yang dirancang pada tugas akhir ini disajikan pada tabel 3. 1 berikut:

**Tabel 3. 1** Spesifikasi lengan robot

Dimensi	77 x 34 x 32 cm
Berat Total	4,2 Kg
Jumlah motor servo tanpa <i>couple</i>	3 buah
Jumlah <i>pneumatic</i>	3 buah
Jumlah <i>coupling</i> servo	4 buah
Jumlah <i>stabilizer</i> tekanan	1 buah
Fitur Mode Kendali	Manual jarak jauh

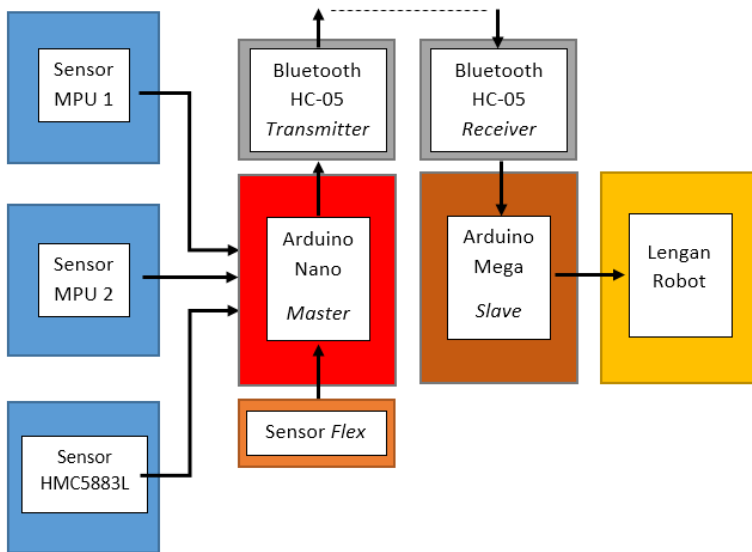
Pada bab perancangan sistem ini menjelaskan mengenai sistem secara keseluruhan mulai dari perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras meliputi perancangan mekanik untuk meletakkan sensor, perancangan lengan robot, perancangan *coupling* servo dengan kran *pneumatic* serta perancangan komponen elektronik. Perancangan komponen elektronik meliputi perancangan sistem sensor pemindai gerak tangan manusia dengan mikrokontroler, pembuatan suplai daya untuk lengan robot dan mikrokontroler pada lengan robot serta suplai daya dan mikrokontroler pada sistem sensor pemindai gerak tangan manusia. Perancangan perangkat lunak meliputi akuisisi data sensor *flex*, sensor MPU6050 dan sensor HMC5883L, serta algoritma untuk menggerakkan lengan robot.



### 3.1 Diagram Blok Sistem

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa secara umum sistem sensor pemindai gerak tangan manusia menggunakan Arduino Nano sebagai pengolah data. Suplai daya yang dibutuhkan sistem bersumber dari baterai Lipo (*Lithium Polymer*) yang diatur tegangannya menjadi 5 volt. Sistem sensor pemindai gerak tangan manusia menggunakan 3 buah sensor dengan 2 jenis berbeda yaitu sensor MPU6050 dan sensor HMC5883L. Sensor MPU6050 berjumlah 2 buah yang diletakkan pada pergelangan tangan dan bagian sikut, serta 1 buah sensor HMC5883L yang diletakkan pada bagian bahu. Komunikasi setiap sensor menggunakan komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*). Informasi yang didapatkan dari setiap sensor adalah sudut roll, sudut pitch, dan sudut yaw. Kemudian terdapat sensor tambahan yaitu sensor *flex* yang digunakan untuk menggerakkan *gripper*. Setiap data yang telah didapat dari setiap sensor kemudian diolah di mikrokontroler Arduino Nano yang berperan sebagai *master*. Data yang telah diolah di Arduino Nano kemudian dikirim secara serial dan *wireless* menggunakan modul *bluetooth* HC-05.

Data yang telah dikirim kemudian diterima oleh Arduino Mega yang berperan sebagai *slave*. Data yang telah diterima Arduino Mega kemudian diolah kembali untuk menggerakkan setiap bagian pada lengan robot. Pergerakan rotasional pada bagian *base* menggunakan informasi sudut dari sensor HMC5883L, pergerakan *elbow* saat naik maupun turun menggunakan informasi sudut dari sensor MPU6050 bagian 2, pergerakan *hasta* saat naik maupun turun menggunakan informasi sudut *pitch* dari sensor MPU6050 bagian 1, seta pergerakan rotasional pada pergelangan *gripper* menggunakan informasi sudut *roll* dari MPU6050 bagian 1. Mekanisme untuk menggerakkan *gripper* robot adalah dengan menggunakan *feedback* dari sensor *flex*. Ketika tangan mengepal, sensor *flex* dalam kondisi melengkung, terjadinya perubahan nilai resistansi ini lalu diolah menjadi gerakan *gripper*. Keseluruhan diagram blok sistem ditunjukkan oleh gambar 3. 2 dibawah ini.



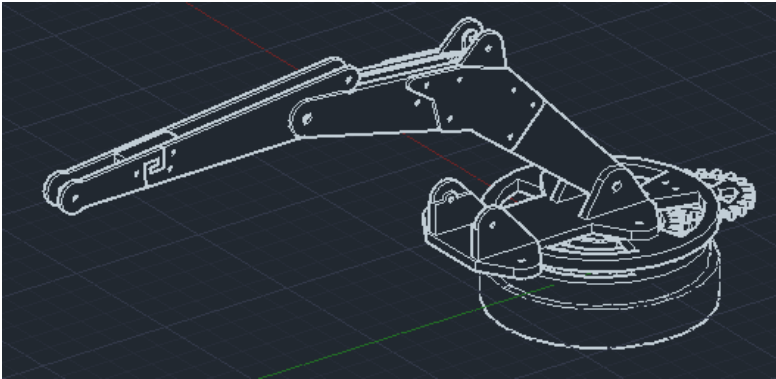
**Gambar 3. 2** Diagram blok sistem

### 3.2 Perancangan Lengan Robot

Pada tugas akhir ini, perancangan lengan robot meliputi desain mekanik dan elektronik. Desain mekanik meliputi perancangan desain lengan robot, perancangan mekanik peletak sensor serta perancangan mekanik *coupling* servo dengan kran *pneumatic*. Sedangkan desain elektronik meliputi perakitan semua komponen-komponen elektronik yang digunakan.

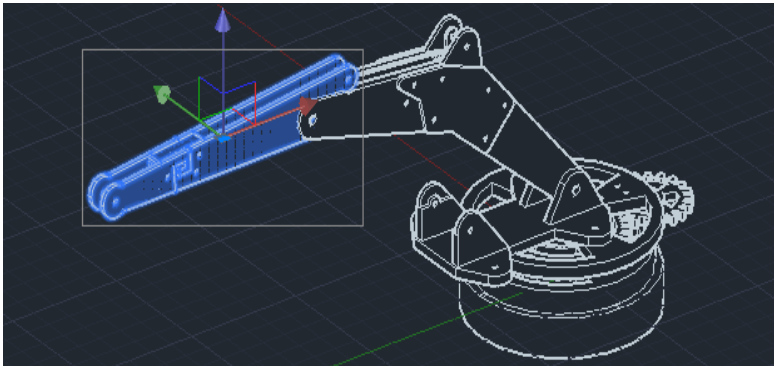
#### 3.2.1 Perancangan Lengan Robot

Perancangan desain lengan robot dibuat menggunakan *software* untuk menggambar 2D dan 3D. Lengan robot dibuat dengan mesin *printer* 3D (3 Dimensi). Bahan yang digunakan untuk membuat lengan robot ini adalah PLA (*Polylactic Acid*). Lengan robot dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu bagian hasta, *elbow*, dan *base*. Dibawah ini adalah gambar dari setiap bagian lengan robot.



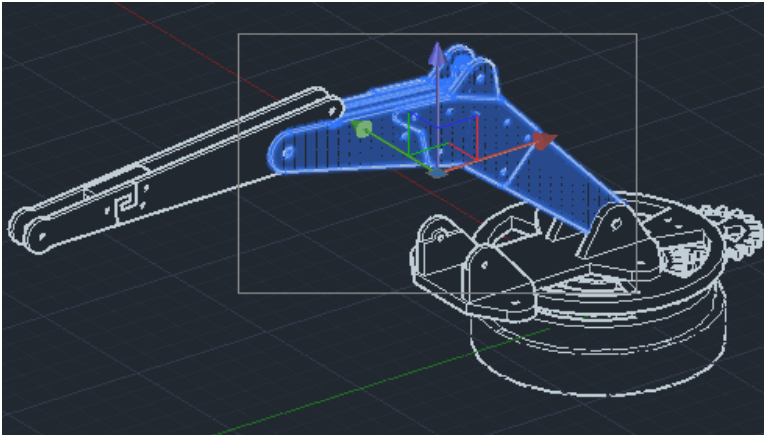
**Gambar 3. 3** Perancangan lengan robot [2]

Lengan robot bagian hasta ditunjukkan pada bagian yang terpilih seperti yang tersajikan pada gambar 3. 4 di bawah. Pada bagian hasta, aktuator yang digunakan adalah *pneumatic* berjumlah 1 buah.



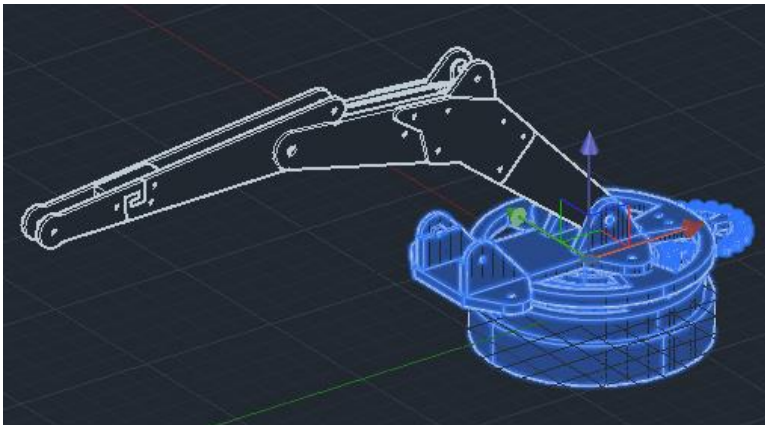
**Gambar 3. 4** Lengan robot bagian hasta [2]

Lengan robot bagian *elbow* ditunjukkan pada bagian yang terpilih seperti yang tersajikan pada gambar 3. 5 di bawah. Pada bagian *elbow*, aktuator yang digunakan adalah *pneumatic* berjumlah 2 buah.



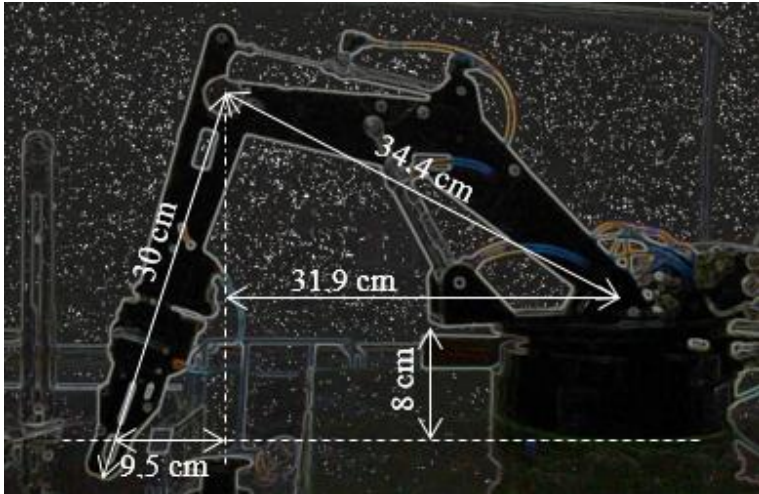
**Gambar 3. 5** Lengan robot bagian *elbow* [2]

Lengan robot bagian *base* ditunjukkan pada bagian yang terpilih seperti yang tersajikan pada gambar 3. 6 di bawah. Pada bagian *base*, aktuator yang digunakan adalah motor servo berjumlah 1 buah.

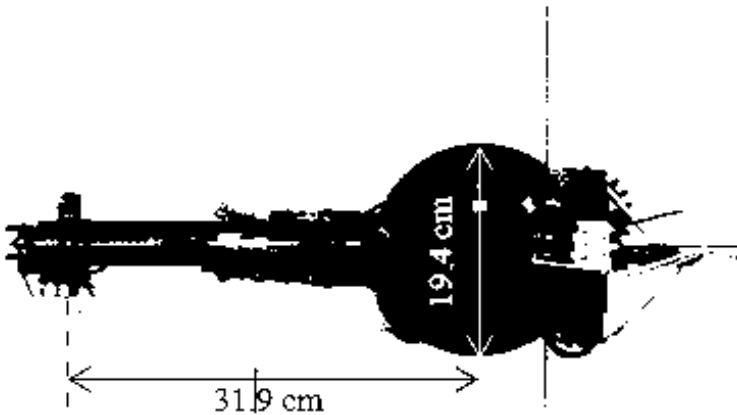


**Gambar 3. 6** Lengan robot bagian *base* [2]

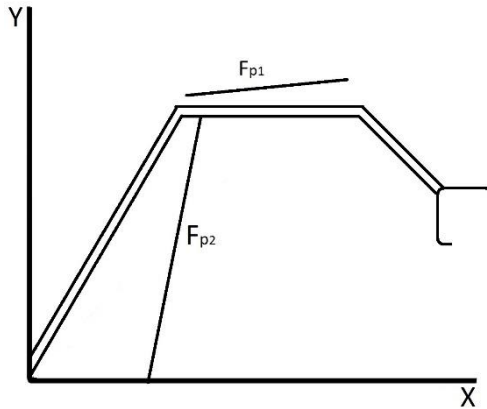
Berikut ini adalah gambar rancangan dimensi dari lengan robot yang telah dibuat dan disajikan pada gambar 3. 7 dan 3. 8 di bawah.



**Gambar 3. 7** Dimensi lengan (dilihat dari samping) [2]

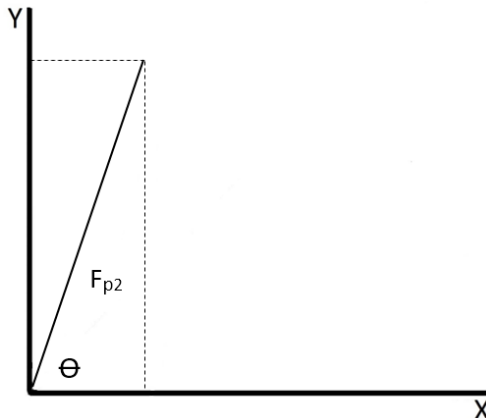


**Gambar 3. 8** Dimensi lengan (dilihat dari atas) [2]

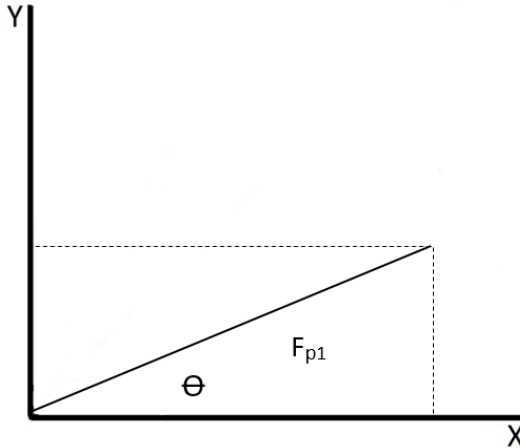


**Gambar 3. 9** Ilustrasi lengan robot dalam sumbu kartesian 2 dimensi

Gambar 3. 9 menunjukkan ilustrasi lengan robot dalam sumbu kartesian 2 dimensi. Lengan robot memiliki *pneumatic* yang memiliki gaya angkat pada bagian *elbow* dan hasta. Gaya *pneumatic* pada bagian *elbow* disimbolkan dalam  $F_{p2}$ . Gaya *pneumatic* pada bagian hasta disimbolkan dalam  $F_{p1}$ . Gaya *pneumatic* pada bagian *elbow* dan hasta dapat dipisah menjadi seperti gambar 3. 10 dan 3.11 berikut:



**Gambar 3. 10** Ilustrasi  $F_{p2}$  dalam sumbu kartesian 2 dimensi



**Gambar 3. 11** Ilustrasi  $F_{p1}$  dalam sumbu kartesian 2 dimensi

Gaya dari  $F_{p1}$  dan  $F_{p2}$  direfleksikan ke dalam sumbu x dan sumbu y sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$F_{p1x} = F_{p1} \cos \theta \quad (3.1)$$

$$F_{p1y} = F_{p1} \sin \theta \quad (3.2)$$

$$F_{p2x} = F_{p2} \cos \theta \quad (3.3)$$

$$F_{p2y} = F_{p2} \sin \theta \quad (3.4)$$

Setelah mendapatkan gaya refleksi, dapat diketahui total gaya dari masing-masing sumbu. Gaya total pada sumbu x disimbolkan dengan  $F_{p12x}$  dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$F_{p12x} = F_{p1x} + F_{p2x} \quad (3.5)$$

Gaya total pada sumbu y disimbolkan dengan  $F_{p12y}$  dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$F_{p12y} = F_{p1y} + F_{p2y} \quad (3.6)$$

Setelah diketahui gaya total dari masing-masing sumbu, maka dapat diketahui gaya total keseluruhan melalui persamaan berikut:

$$F_p \text{ total} = \sqrt{(F_{p12x})^2 + (F_{p12y})^2} \quad (3.7)$$

### 3.2.2 Mekanik Peletak Sensor

Perancangan mekanik peletak sensor ini dibuat menggunakan *software* untuk menggambar 2D dan 3D. Mekanik peletak sensor ini berjumlah 3 buah untuk meletakkan sensor MPU6050 dan sensor HMC5833L serta mikrokontroler arduino nano. Alat ini dilengkapi dengan *sponges* pada bagian dalamnya agar pengguna dapat menggunakannya dengan nyaman. Alat ini juga dilengkapi dengan kain karet yang membuat perangkat ini menjadi elastis sehingga ukurannya dapat diubah. Alat ini memiliki diameter berbeda agar dapat menyesuaikan besar sendi setiap lengan manusia. Alat ini diletakkan pada bagian bahu, sikut serta pergelangan tangan manusia.



**Gambar 3. 12** Mekanik peletak sensor



**Tabel 3. 2** Diameter dalam mekanik untuk meletakkan sensor

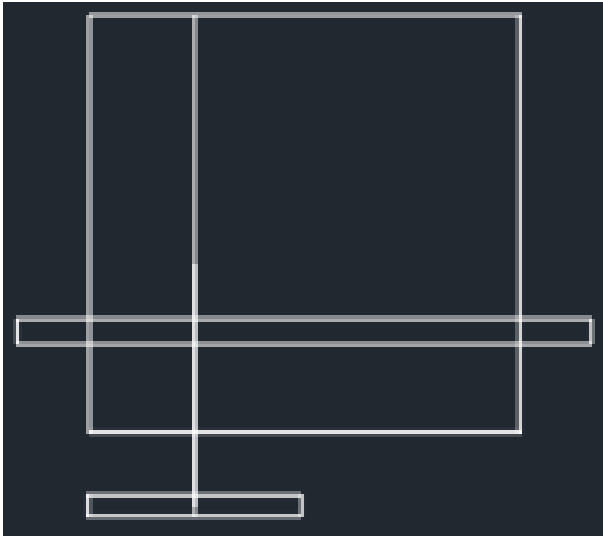
<i>Wearable device</i> pada <i>elbow</i>	8 cm
<i>Wearable device</i> pada hasta	8 cm
<i>Wearable device</i> pada pergelangan tangan	7 cm

**Tabel 3. 3** Bobot mekanik untuk meletakkan sensor

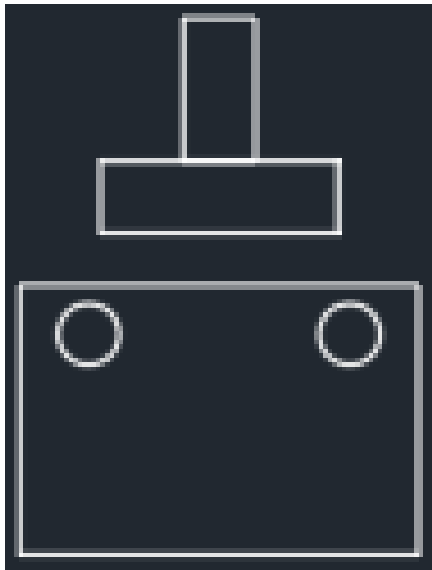
<i>Wearable device</i> pada <i>elbow</i>	156,25 gram
<i>Wearable device</i> pada hasta	93,75 gram
<i>Wearable device</i> pada pergelangan tangan	90,75 gram

### 3.2.3 Mekanik *Coupling* Servo

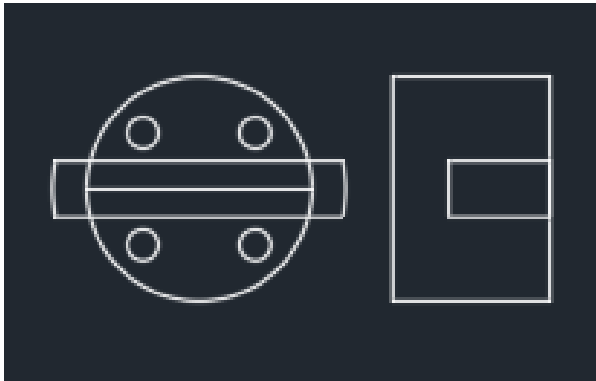
Pada tugas akhir ini, desain *coupling* servo dengan kran *pneumatic* dibuat menggunakan *software* untuk menggambar 2D dan 3D. *Coupling* terbuat dari bahan aluminium pejal yang dibentuk menggunakan mesin CNC (*Computer Numerical Control*) sehingga dapat menyesuaikan bentuk dan ukuran dari tutup kran *pneumatic*. Servo dan kran *pneumatic* dihubungkan menggunakan aluminium plat L yang sudah dibentuk sesuai dengan bentuk dan ukuran servo dan kran *pneumatic*. Pada tugas akhir ini *coupling* servo berjumlah total 5 *coupling*, dimana 4 *coupling* untuk mengatur keluaran tekanan angin pada *pneumatic* yang terdapat pada lengan robot yang masing-masing *pneumatic* diatur oleh 2 *coupling*, serta 1 *coupling* untuk mengatur besar tekanan udara yang terletak pada tangki udara agar udara pada tangki udara tetap stabil pada tekanan 40 psi. Motor servo yang digunakan untuk mengatur bukaan kran *pneumatic* adalah motor servo dengan tipe MG996R, sedangkan *pneumatic* yang digunakan adalah *pneumatic* tipe MA6432. *Pneumatic* yang digunakan adalah *pneumatic double acting cylinder*. *Pneumatic double acting cylinder*, adalah silinder yang memiliki dua *port* untuk *instroke* dan *outstroke*. Silinder jenis ini menggunakan kekuatan udara bertekanan untuk mendorong piston keluar dan mendorong piston untuk kembali pada posisi awal (menarik kedalam). Sehingga silinder ini membutuhkan lebih banyak udara dan katup pengontrol arah yang lebih kompleks bila dibandingkan dengan silinder kerja tunggal. Ilustrasi mekanisme desain *coupling* servo dengan kran *pneumatic* dapat dilihat pada ilustrasi gambar 3. 10 sampai gambar 3. 11 di bawah.



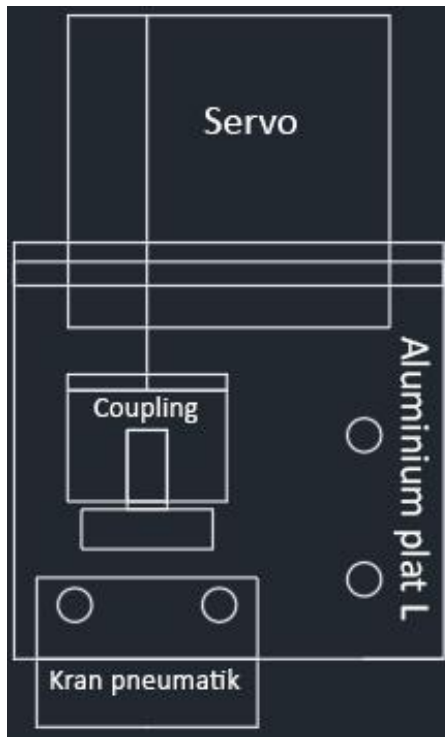
**Gambar 3. 13** Ilustrasi servo tampak samping



**Gambar 3. 14** Ilustrasi kran *pneumatic* tampak samping



**Gambar 3. 15** Ilustrasi *coupling* tampak atas dan samping



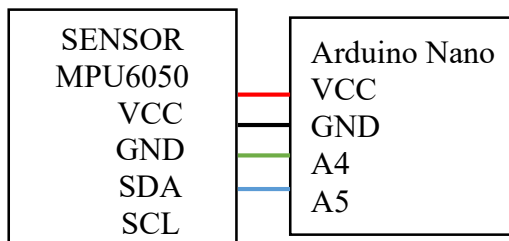
**Gambar 3. 16** Ilustrasi keseluruhan *coupling* servo dan kran *pneumatic*

### 3.3 Perancangan Sistem Sensor Pemindai Gerak Tangan

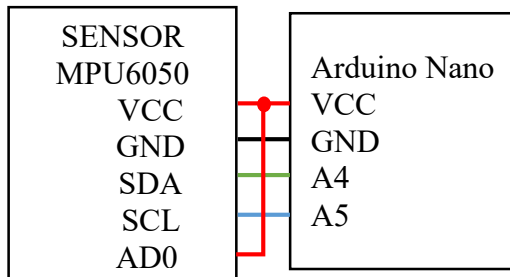
Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan sistem sensor pemindai gerak tangan manusia. Perancangan sistem sensor pemindai gerak tangan meliputi perancangan sensor-sensor yang digunakan. Komponen-komponen elektronik yang digunakan akan dijelaskan pula pada bab ini. Komponen-komponen elektronik meliputi seluruh rangkaian elektronik yang digunakan pada tugas akhir ini. Perancangan sistem sensor diantaranya adalah perancangan sistem sensor MPU6050, sensor HMC5883L dan sensor *flex*. Perancangan komponen pendukung juga akan dibahas yang meliputi perancangan suplai daya serta komponen elektronik yang digunakan pada tugas akhir ini.

#### 3.3.1 Sistem Sensor Pemindai Gerak Tangan Manusia

Pada tugas akhir ini, sistem sensor pemindai gerak tangan manusia menggunakan sensor MPU6050 dan HMC5883L. Jumlah MPU6050 yang digunakan adalah 2 buah. Akuisisi data sensor MPU6050 menggunakan komunikasi I2C. Sensor MPU6050 harus dibedakan menjadi dua *address* agar dapat mengakses keduanya. Untuk MPU6050 yang diletakkan pada pergelangan tangan yaitu MPU6050 bagian 1 memiliki *address* 0x68, sedangkan MPU6050 yang diletakkan pada bagian sikut yaitu MPU6050 bagian 2 memiliki *address* 0x69 dimana AD0=1 yang artinya AD0 terhubung ke VCC. Antarmuka antara sensor MPU6050 dapat dilihat pada gambar 3. 14 dan gambar 3.15 di bawah.



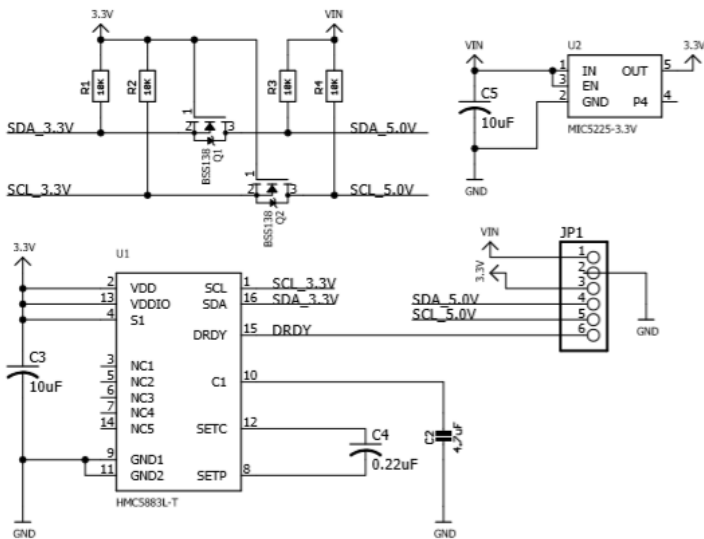
**Gambar 3. 17** Wiring MPU6050 bagian 1



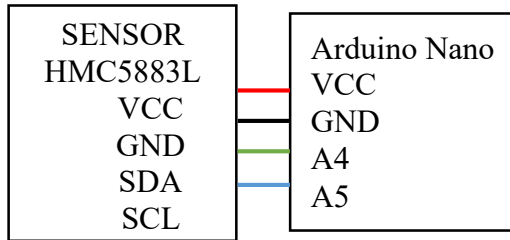
**Gambar 3. 18** Wiring MPU6050 bagian 2

### 3.3.2 Sensor HMC5883L

Sensor yang digunakan untuk pemindai gerak tangan salah satunya adalah sensor kompas. Sensor kompas yang digunakan adalah kompas digital HMC5883L, dimana keluaran dari kompas ini dimasukkan ke Arduino untuk diolah. Kompas memiliki rentang sudut dari 0 hingga 360 derajat. Antarmuka dengan Arduino ialah melalui pin I2C, dalam tugas akhir ini menggunakan pin SDA dan pin SCL.



**Gambar 3. 19** Skematik sensor HMC5883L [17]

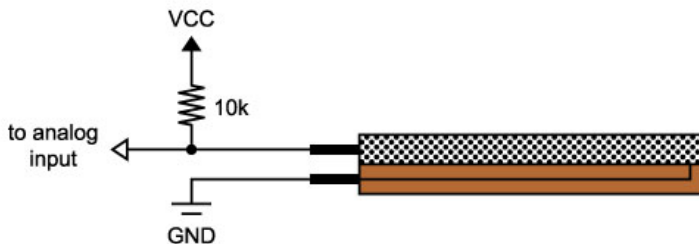


**Gambar 3. 20** Wiring sensor HMC5883L

### 3.3.3 Sensor *Flex*

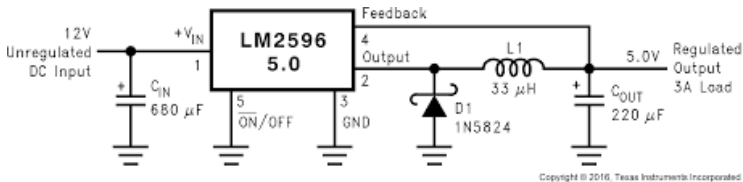
Pada tugas akhir ini, sensor yang digunakan untuk menggerakkan *gripper* adalah sensor *flex*. Sensor *flex* yang akan digunakan adalah sensor buatan *sparkfun* dengan spesifikasi nilai resistansi 0-50 K $\Omega$ , namun pada realisasinya, nilai resistansi saat tidak melengkung adalah 10K $\Omega$ . Sensor yang digunakan pada tugas akhir ini memiliki panjang 4.4 inci. Untuk penggunaan sensor *flex* adalah seperti pada gambar dibawah ini

Dengan perubahan nilai tegangan tersebut dapat dikonversi ke data ADC (*Analog to Digital Converter*) dengan mengikuti persamaan 2.2. Pada tegangan nilai  $V_i$  bernilai 5 volt sesuai keluaran arduino yang digunakan, nilai  $R_1$  adalah 10 K sesuai dengan resistor pembagi tegangan yang digunakan dan  $R_2$  adalah nilai dari sensor *flex* yang terukur.  $V_{in}$  Analog adalah nilai tegangan luaran dari sensor *flex* yang terukur.



**Gambar 3. 21** Rangkaian pembagi tegangan untuk sensor *flex* [10]

### 3.3.4 Perancangan Suplai Daya



**Gambar 3. 22** Rangkaian regulator tegangan 5V [1]

Suplai daya adalah perangkat elektronika yang mensuplai sumber listrik ke perangkat elektronika lainnya. Dalam suatu rangkai suplai daya terdapat sebuah regulator tegangan dimana digunakan untuk menurunkan tegangan dari satu level tertentu ke level yang diinginkan. Dalam tugas akhir ini menggunakan sebuah regulator tegangan berupa LM2596 DC-DC *converter* yang mampu meregulasi

tegangan input dari rentang 7,4 Volt – 12,6 Volt menjadi 5 Volt dan mampu menyuplai beban sampai batas arus 3A. Dalam tugas akhir ini, besar tegangan yang dibutuhkan adalah 5 Volt untuk suplai daya mikrokontroler, sensor, dan motor servo.

### 3.3.5 Arduino Nano

*Processing unit* yang digunakan pada tugas akhir ini sebagai pemroses data sistem sensor dan mengkonversi data-data tersebut menjadi nilai pergerakan adalah Arduino Nano. Arduino Nano adalah sebuah *mini board* berbasis mikrokontroler Atmega328. Arduino Nano mempunyai 14 pin digital *input/output* (pin 0-13) yang terdiri dari 8 pin *input* analog (pin 0-7) yang biasa digunakan untuk membaca tegangan dari sensor dan mengkonversikannya menjadi nilai 0 dan 1023, 6 pin *output* analog (pin 3, 5, 6, 9, 10, 11) yang digunakan untuk pengaturan PWM (*Pulse Width Modulation*), sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah ICSP *header*, dan sebuah tombol *reset*.

Arduino nano dapat dioperasikan dengan menggunakan *port* USB komputer, USB *charger*, atau adaptor AC-DC dengan tegangan yang direkomendasikan 7-12 Volt [1].

### 3.3.6 Arduino Mega

*Processing unit* yang digunakan pada tugas akhir ini sebagai pemroses data yang diterima dan menggerakkan lengan robot adalah Arduino Mega 2560. Arduino Mega 2560 adalah sebuah *board* mikrokontroler berbasis ATmega2560. Modul ini memiliki 54 digital *input/output* dimana 15 digunakan untuk PWM (*Pulse Width Modulation*) *output* dan 16 digunakan sebagai analog *input*, 4 port serial, 16 MHz osilator kristal, ICISP Header, dan tombol *reset*. Arduino Mega 2560 memiliki *flash memory* sebesar 256KB. Arduino Mega 2560 tidak memerlukan *flash* program external karena di dalam *chip* mikrokontroler Arduino telah diprogram dengan *bootloader* yang membuat proses *upload* program yang dibuat menjadi lebih sederhana dan cepat [1].



**Gambar 3. 23** Skematika rangkaian arduino Mega 2650 [9]

### 3.4 Perancangan Kontrol PID *Pneumatic*

Pergerakan *coupling* motor servo menggunakan kontrol PID (*Proportional Derivative Integral*). *Set point* yang digunakan adalah nilai dari potensiometer. Potensiometer diletakkan pada sendi hasta dan sendi *elbow*. Nilai aktual adalah nilai dari sensor. Untuk mendapatkan nilai *error* sudut dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$error(t) = \text{nilai aktual} - \text{set point} \quad (3.8)$$

Komponen P (*Proportional*) mengeluarkan sinyal kontrol yang besarnya proporsional atau sebanding terhadap besarnya *error*. Secara matematis, pengontrol P dapat dinyatakan sebagai berikut

$$Pout = Kp * error(t) \quad (3.9)$$

Kp adalah konstanta proporsional. Setelah mendapatkan *error* sudut, maka dapat mencari nilai dari *output integral* dengan persamaan berikut:

$$Iout = Ki \sum_0^t error(t) \quad (3.10)$$

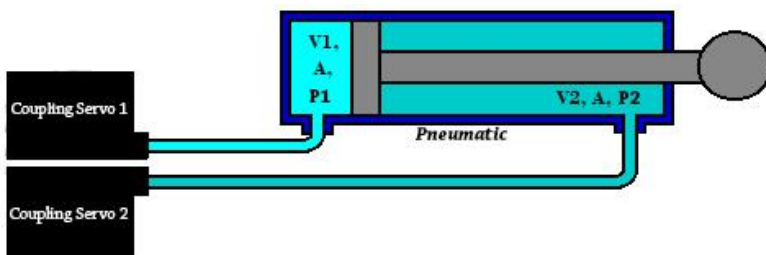
Ki adalah konstanta *integral*. Setelah *output integral* diketahui, maka dapat mencari nilai dari *output derivative* dengan persamaan berikut:

$$Dout = Kd \frac{d}{dt} error(t) \quad (3.11)$$

Setelah mendapatkan nilai *output* dari masing-masing komponen, dapat dicari *output* PID dengan persamaan berikut:

$$output \text{ PID} = Pout + Iout + Dout \quad (3.12)$$

Nilai Kp, Ki dan Kd ditentukan berdasarkan hasil percobaan. Hasil percobaan nilai Kp, Ki dan Kd terdapat pada bab pengujian dan analisa.



**Gambar 3. 24** Ilustrasi *coupling* motor servo dengan *pneumatic*

Sistem *pneumatic* memanfaatkan tekanan udara sebagai gaya untuk mendorong aktuator memindahkan obyek. Aktuator (silinder) dapat dipandang sebagai dua bilik terpisah dengan volume tidak tetap, yang diseparasi dengan sebuah piston.

Persamaan yang menggambarkan gerak piston dan *bore* dituliskan sebagai berikut:

$$F_L + F_f = P_1 \cdot A - P_2 \cdot A \quad (3.13)$$

Dengan  $F_L$  sebagai besaran beban,  $F_f$  sebagai besaran gesekan,  $P_1$  sebagai besaran tekanan udara pada bilik 1,  $A$  sebagai besaran luas penampang piston, dan  $P_2$  sebagai besaran tekanan udara pada bilik 2. Diasumsikan bahwa gas yang digunakan bersifat ideal, hubungan antara volume, massa, dan tekanan gas (udara) dituliskan:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (3.14)$$

Dengan  $T$  sebagai nilai temperatur udara, dan  $R$  sebagai konstanta gas ideal (0,08205 L atm/mol K). Dalam bab teori penunjang telah disebutkan sebuah proses yang disebut proses isokhorik. Dalam penyaluran udara ke bilik 1, perubahan tekanan yang terjadi pada proses ini dapat diabaikan pada fenomena yang terjadi di silinder, karena perubahan volume yang kecil dibandingkan volume tangki udara.

$$P_t \cdot V_t = P_1 \cdot V_1 \quad (3.15)$$

$$n_t \cdot R \cdot T_T = n_1 \cdot R \cdot T_1 \quad (3.16)$$

Pengaliran udara dalam durasi tertentu berimplikasi pada peningkatan massa (jumlah partikel) udara yang menempati bilik 1.

$$n = n_0 + \int_{t_0}^{t_1} Q \, dt \quad (3.17)$$

*Solenoid valve* yang digunakan bukan *proportional valve*, sehingga, debit udara ( $Q$ ) bernilai tetap. Penambahan jumlah partikel dalam bilik 1 mendorong piston untuk bergerak, dan berimplikasi pada penambahan panjang keluaran *stroke*.

$$L = L_0 + Q \cdot t \quad (3.18)$$

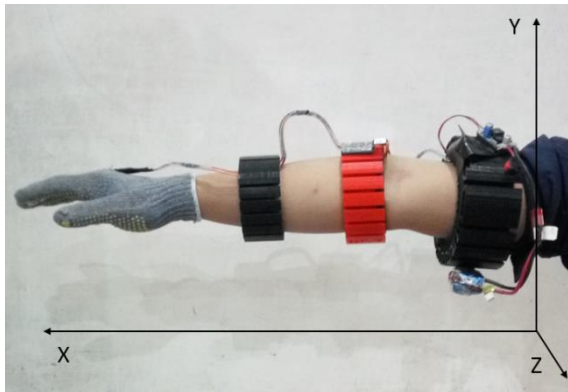
Perubahan panjang *stroke* dapat terjadi berupa pengurangan, atau penambahan, bergantung pada *port* yang menerima masukan udara bertekanan. Untuk melengkapi model matematika pada persamaan 3.6, perlu ditambahkan konstanta *dir* yang bernilai 1 atau -1 pada suku ketiga.

$$L = L_0 + \text{dir} \cdot Q \cdot t \quad (3.19)$$

### 3.5 Perancangan Kontrol *Stabilizer*

Perancangan kontrol *stabilizer* digunakan untuk mengatur tekanan udara agar tetap stabil. Tekanan yang digunakan sebesar 40 psi (*Pound per Square Inch*). Sensor yang digunakan adalah sensor mpx6700ap. Sensor terhubung dengan *coupling* servo yang dikhususkan untuk *stabilizer*. *Coupling* servo diatur buka dan tutupnya oleh Arduino nano. Pembacaan sensor berdasarkan nilai ADC. Nilai ADC diubah dengan cara *mapping* data menjadi satuan psi. Data yang telah di-*mapping* kemudian dibatasi nilainya berkisar antara 38-40 psi, artinya *coupling* servo akan membuka apabila tekanan berkurang dan melewati tekanan di bawah 38 psi yang berarti udara masuk dan mengisi tangki udara, kemudian saat tangki udara telah terisi sampai batas maksimum 40 psi, *coupling* servo akan menutup, yang berarti kondisi ini tidak mengisi udara ke tangki udara.

### 3.6 Perancangan Gerak Lengan Robot



**Gambar 3. 25** Posisi awal lengan dalam sumbu kartesian

Perancangan gerak lengan robot terdiri dari perancangan gerak *gripper*, hasta, *elbow*, *base* dan sinkronisasi keseluruhan gerakan.

#### 3.6.1 Perancangan Gerak *Gripper*

Pada tahap perancangan gerak *gripper* ini menggunakan nilai dari sensor *flex*. Nilai ADC dari sensor *flex* diproses menjadi perbesaran sudut. Nilai ADC dari sensor *flex* dimulai dari rentang 150-190, dimana 150 kondisi jari mengepal, sedangkan 190 kondisi jari membuka. Nilai ADC dikonversi menjadi nilai sudut menggunakan fungsi *mapping* menjadi 0-80 derajat. Nilai awal sudut pada *gripper* robot diatur pada sudut 80 derajat. Sudut 0 derajat menandakan *gripper* menutup, sedangkan 90 derajat *gripper* membuka. Pergerakan rotasional *gripper* menggunakan data *roll* dari MPU6050 bagian 1. MPU6050 bagian 1 terletak pada gelang pertama di pergelangan tangan. Sudut dari MPU6050 bagian 1 dimulai dari *range* -90 sampai 90 derajat. Sudut ini dikonversi menjadi sudut bagian hasta, yaitu 0-165 derajat. Konversi sudut ini menggunakan fungsi *mapping*. Sudut lengan dalam keadaan -90 derajat, maka sudut lengan hasta dalam keadaan 0 derajat yang artinya dalam keadaan rotasi ke kiri, sedangkan saat sudut lengan dalam keadaan 90 derajat, maka sudut lengan hasta dalam keadaan 165 derajat yang artinya dalam keadaan rotasi ke kanan.

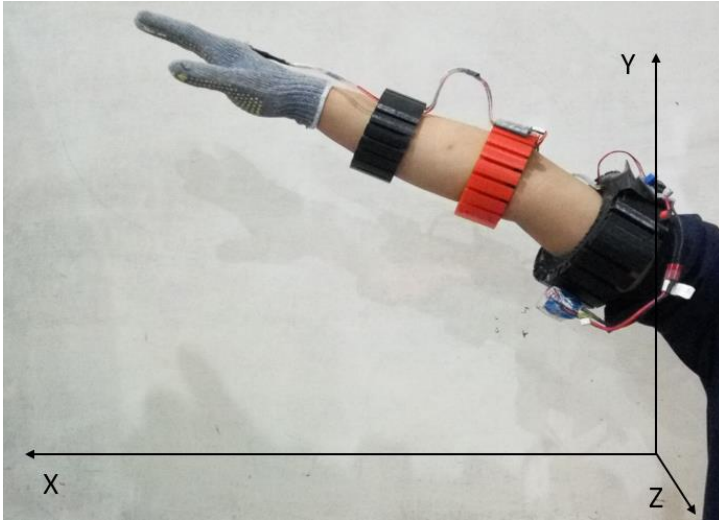
### 3.6.2 Perancangan Gerak Hasta



**Gambar 3. 26** Posisi lengan saat gerak hasta dalam sumbu kartesian

Pergerakan hasta menggunakan nilai *pitch* dari sensor MPU6050 bagian 1. MPU6050 bagian 1 terletak pada gelang kedua bagian sikut. Berdasarkan gambar 3.23 sikut menekuk yang mengakibatkan lengan terangkat mendekati sumbu y namun bahu tidak terangkat. Kondisi pada gambar 3. 23 apabila dilihat pada kondisi lengan robot adalah dalam keadaan bagian hasta terangkat. Sudut dari MPU6050 bagian 1 dimulai dari *range* 0-90 derajat. Sudut ini dikonversi menjadi sudut bagian hasta, yaitu 98-155 derajat. Konversi sudut ini menggunakan fungsi *mapping*. Sudut lengan dalam keadaan 0 derajat, maka sudut lengan hasta dalam keadaan 98 derajat yang artinya dalam keadaan diam, sedangkan saat sudut lengan dalam keadaan 90 derajat, maka sudut lengan hasta dalam keadaan 155 derajat yang artinya dalam keadaan terangkat.

### 3.6.3 Perancangan Gerak *Elbow*



**Gambar 3. 27** Posisi lengan saat gerak *elbow* dalam sumbu kartesian

Pergerakan *elbow* menggunakan nilai *pitch* dari sensor MPU6050 bagian 2. MPU6050 bagian 2 terletak pada gelang ketiga bagian bahu. Berdasarkan gambar 3.24 bahu terangkat mendekati sumbu y. Kondisi pada gambar 3. 24 apabila dilihat pada kondisi lengan robot adalah dalam keadaan bagian *elbow* terangkat. Sudut dari MPU6050 bagian 1 dimulai dari *range* 0-90 derajat. Sudut ini dikonversi menjadi sudut bagian hasta, yaitu 40-60 derajat. Konversi sudut ini menggunakan fungsi *mapping*. Sudut lengan dalam keadaan 0 derajat, maka sudut lengan *elbow* dalam keadaan 40 derajat yang artinya dalam keadaan diam, sedangkan saat sudut lengan dalam keadaan 90 derajat, maka sudut lengan *elbow* dalam keadaan 60 derajat yang artinya dalam keadaan terangkat.

### 3.6.4 Perancangan Gerak *Base*

Pergerakan *base* menggunakan nilai *yaw* dari sensor HMC5883L. sensor HMC5883L terletak pada gelang ketiga bagian bahu. Berdasarkan gambar 3. 22 bahu sejajar dengan sumbu x. Pergerakan lengan pada gambar 3. 22 adalah pada sumbu z. Kondisi pada gambar 3. 22 apabila bergerak dalam sumbu z maka dapat dilihat pada kondisi lengan robot adalah bergerak rotasional ke kanan dan ke kiri. Sudut dari sensor HMC5883L dimulai dari *range* 0-90 derajat. Sudut ini dikonversi menjadi sudut bagian *base*, yaitu 0-150 derajat. Konversi sudut ini menggunakan fungsi *mapping*. Sudut lengan dalam keadaan 0 derajat, maka sudut lengan *base* dalam keadaan 0 derajat yang artinya dalam keadaan putar ke kiri, sedangkan saat sudut lengan dalam keadaan 90 derajat, maka sudut lengan *base* dalam keadaan 150 derajat yang artinya dalam keadaan putar ke kanan.

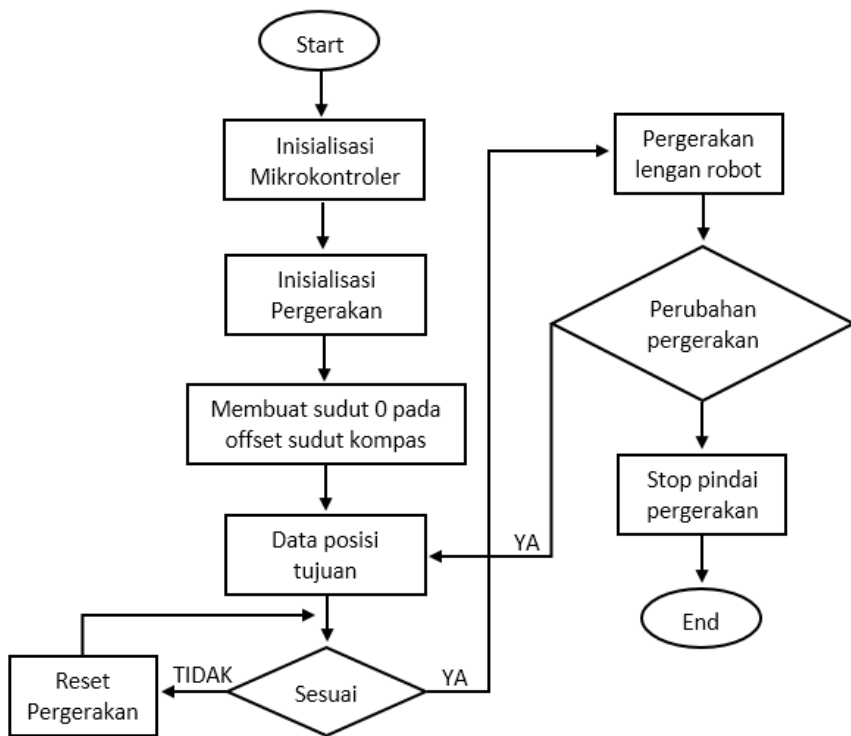
### 3.6.5 Sinkronisasi Pergerakan

Langkah awal yang dilakukan oleh sistem adalah inisialisasi sensor. Sensor yang digunakan adalah sensor *flex*, MPU6050 dan HMC5883L. Setelah itu dilakukan inisialisasi komunikasi I2C. Di dalam algoritma program diberikan *feedback* berupa *offset* nilai kompas. Hal ini diperlukan untuk membuat acuan arah kompas dimanapun menghadap akan menjadi sudut 0 (dalam sumbu *yaw*).

Data perpindahan lengan dan tangan pengguna kemudian dikirimkan ke mikrokontroler robot untuk diproses dengan *bluetooth* HC-05. Yang terakhir adalah algoritma untuk menjadikan gerak robot serupa dengan gerakan pengguna. Robot dapat mengetahui pergerakan lengan manusia serta besar pergerakan yang dilakukan. Diagram alir dari algoritma sinkronisasi dijelaskan dengan gambar dibawah ini.

Akan tetapi lengan robot memiliki batas pergerakan derajat rotasi setiap servo, hal ini mengakibatkan adanya batasan pergerakan robot, sehingga tidak dapat mengikuti lengan manusia ketika terjadi simpangan perpindahan lengan yang terlalu besar.





**Gambar 3. 28** Diagram alir proses keseluruhan

### 3.7 Langkah-Langkah Penggunaan Alat

Langkah-langkah penggunaan alat menjelaskan tentang urutan-urutan yang harus dilakukan untuk menghidupkan alat secara benar dan aman. Langkah-langkah penggunaan alat terdiri dari beberapa langkah, yaitu mengatur tekanan udara pada 40 psi (*Pounds per Square Inch*), memasang sensor pemindai gerak tangan dan yang terakhir adalah menghidupkan lengan robot.

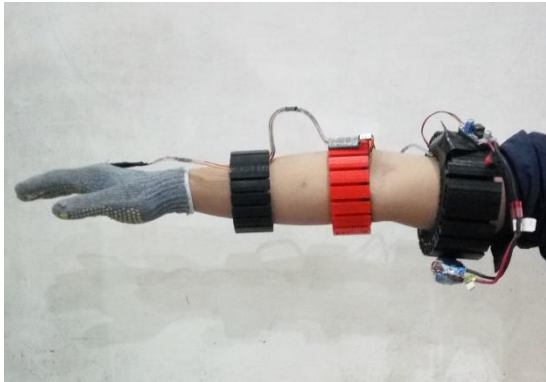
#### 3.7.1 Mengatur Tekanan Udara

Langkah pertama yang harus dilakukan dalam penggunaan alat adalah mengatur tekanan kompresor pada tekanan 40 psi (*Pounds per Square Inch*). Tekanan kompresor diatur pada tekanan 40 psi bertujuan untuk mencegah tekanan berlebihan pada tangka udara yang dapat mengakibatkan kerusakan pada tangka udara. Tekanan udara dalam tangka udara memiliki *stabilizer* tekanan yang bertujuan untuk menjaga tekanan pada kondisi stabil. Tekanan yang stabil akan membuat gerakan *pneumatic* pada lengan robot stabil.



**Gambar 3. 29** Tekanan udara 40 psi

### 3.7.2 Memasang Sensor Pemindai Gerak Tangan



**Gambar 3. 30** Pemasangan sensor pemindai gerak tangan

Pemasangan sensor pemindai gerak tangan manusia dilakukan secara bersamaan untuk 3 gelang. Pemindai gerak tangan memiliki 3 diameter gelang yang berbeda. Diameter disesuaikan dengan diameter bahu, sikut dan pergelangan tangan. Diameter yang paling besar dimasukkan terlebih dahulu ke bagian bahu diikuti dengan diameter sedang dibagian sikut kemudian diameter yang paling kecil di bagian pergelangan tangan. Sarung tangan dipasang pada jari lengan, kemudian sensor *flex* dipasang pada sarung tangan. Pemindai gerak tangan memiliki *switch* untuk menyalakan keseluruhan sistem sensor. *Switch* ditekan pada kondisi *ON*, maka sistem sensor menyala dan *bluetooth* menyala dengan kondisi *LED* berkedip jengan jeda 1 detik yang menandakan belum *pairing*.

### 3.7.3 Menghidupkan Lengan Robot

Lengan robot dinyalakan dengan menekan tombol *switch*. Lengan robot dinyalakan setelah menyalakan sistem sensor pemindai gerak tangan manusia. *Bluetooth* yang ada di lengan robot akan menyala dengan kondisi *LED* berkedip jengan jeda 2 detik yang menandakan bahwa *bluetooth* pada sistem sensor dengan *bluetooth* pada lengan robot telah *pairing*. *Pairing* antara kedua divais dilakukan secara otomatis. Keseluruhan sistem siap dijalankan setelah semua sistem dinyalakan.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab pengujian dan analisis ini berisi tentang pengujian-pengujian yang telah dilakukan, dimulai dari pengujian komponen yang digunakan serta pengujian keseluruhan sistem yang telah dibuat. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketercapaian tujuan dari sistem yang dirancang. Beberapa pengujian yang dilakukan diantaranya pengujian terhadap sensor-sensor yang digunakan seperti pengujian sensor *flex*, MPU6050 dan HMC5883L. Disamping itu dilakukan pengujian *latency* atau keterlambatan atau kecepatan/waktu dimulai pada saat lengan bergerak hingga lengan robot bergerak. Kemudian melakukan pengujian sudut jangkauan maksimal lengan robot, selanjutnya pengujian akurasi perbandingan antara tangan yang digerakkan dengan hasil pada lengan robot serta melakukan pengujian keseluruhan sistem yang telah dibuat. Keseluruhan rangkaian lengan robot dan tangki udara yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4. 1** Keseluruhan rangkaian lengan robot dan tangki udara



**Gambar 4. 2** Keseluruhan rangkaian mekanik peletak sensor

#### **4.1 Pengujian Sistem Sensor Pemindai Gerak Tangan**

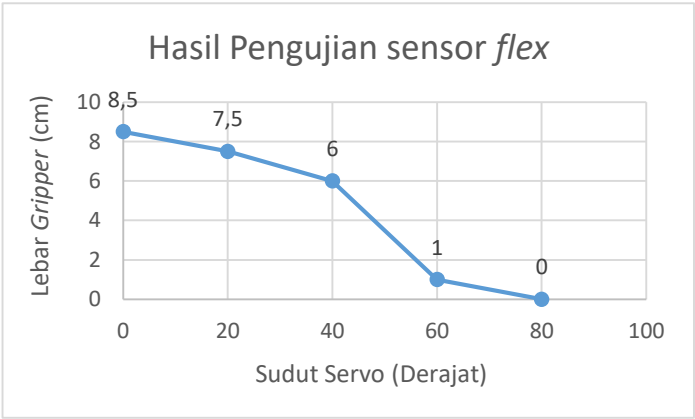
Pengujian sensor dilakukan untuk mendapatkan nilai data sensor serta membandingkan antara data sensor dengan sudut pada lengan robot. Data sensor yang didapat telah dikonversikan menjadi data sudut, kemudian data sudut dari sensor dikirim ke lengan robot secara serial menggunakan *Bluetooth* HC-05, data yang telah diterima digunakan untuk menggerakkan lengan robot. Pengujian sensor diantaranya yaitu pengujian sensor *flex*, sensor MPU6050 serta sensor HMC5883L terhadap pergerakan sudut-sudut lengan robot. Pengujian dilakukan di dalam laboratorium A206 Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

4.1.1 Pengujian Sensor *Flex*

Pengujian sensor *flex* dilakukan untuk mendapatkan informasi data sensor yaitu berupa nilai ADC (*Analog to Digital Converter*) yang kemudian dilakukan *mapping* data menjadi nilai sudut. Nilai sudut yang telah diterima digunakan untuk menggerakkan *gripper* lengan robot. Pengujian dilakukan dengan cara mengepalkan dan merenggangkan jari yang telah terpasang sensor *flex*, sensor *flex* akan mengalami perubahan kelengkungan, perubahan kelengkungan sensor *flex* akan menghasilkan nilai ADC yang berbeda. Data hasil pengujian sensor *flex* terdapat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil pengujian sensor *flex*

Nilai ADC Sensor <i>Flex</i>	Sudut Servo pada <i>Gripper</i>	Lebar <i>Gripper</i> (cm)
125	0°	8,5
160	20°	7,5
170	40°	6
180	60°	1
190	80°	0



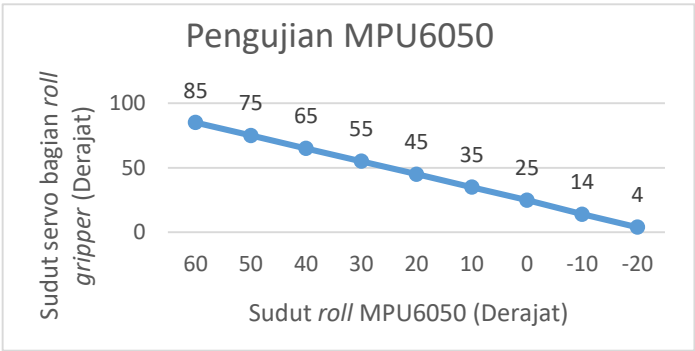
Grafik 4.1 Hasil pengujian sensor *flex*

4.1.2 Pengujian Sensor MPU6050

Pengujian MPU6050 dilakukan untuk mendapatkan informasi data sensor yaitu berupa sudut *roll*. Sudut *roll* ini kemudian digunakan untuk menggerakkan lengan robot bagian rotasional *gripper*. Pengujian dilakukan dengan memutar sensor MPU6050 searah dan berlawanan arah jarum jam, kemudian dibandingkan hasilnya dengan sudut gerakan motor servo yang terletak pada bagian *gripper* yang bergerak secara rotasional searah dan berlawanan arah jarum jam. Data hasil pengujian sensor MPU6050 terdapat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil pengujian MPU6050

Sudut <i>roll</i> MPU6050	Sudut servo bagian <i>roll gripper</i>
60°	85°
50°	75°
40°	65°
30°	55°
20°	45°
10°	35°
0°	25°
-10°	14°
-20°	4°



Grafik 4.2 Hasil pengujian MPU6050

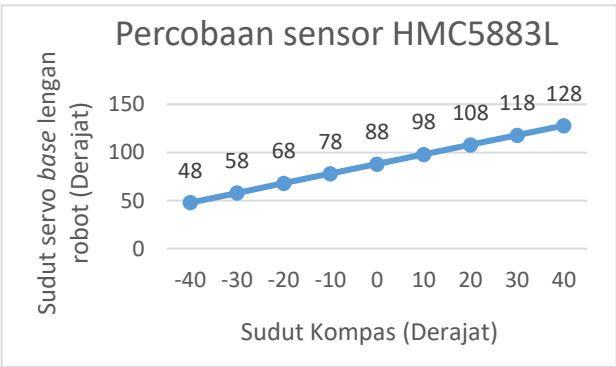


4.1.3 Pengujian sensor HMC5883L

Pengujian sensor HMC5883L dilakukan untuk mendapatkan informasi data sensor yaitu berupa sudut yang digunakan untuk menggerakkan lengan robot bagian *base*. Pengujian dilakukan dengan memutar sensor HMC5883L searah dan berlawanan arah jarum, kemudian dibandingkan hasilnya dengan sudut gerakan motor servo yang terletak pada bagian *base* searah dan berlawanan arah jarum jam. Data hasil pengujian sensor HMC5883L terdapat pada tabel 4. 3.

Tabel 4. 3 Hasil pengujian sensor HMC5883L

Sudut Kompas	Sudut servo <i>base</i> lengan robot
-40°	48°
-30°	58°
-20°	68°
-10°	78°
0°	88°
10°	98°
20°	108°
30°	118°
40°	128°



Grafik 4.3 Hasil pengujian HMC5883L

4.2 Pengujian Gerak Lengan Robot

Pengujian gerak lengan robot dilakukan untuk mengetahui kemampuan gerak lengan robot berdasarkan sistem snsor yang telah dibuat. Pengujian ini meliputi pengujian resolusi, pengujian *latency*, pengujian jarak, pengujian beban dan pengujian linearitas. Pengujian dilakukan bertahap dimulai dari setiap bagian lengan robot kemudian dilakukan pengujian gerak secara keseluruhan.

4.2.1 Pengujian Resolusi Sudut Hasta

Pengujian resolusi dilakukan untuk mendapatkan informasi data nilai sudut dan perpanjangan *pneumatic* pada bagian *hasta* yang digunakan sebagai nilai *feedback* untuk menggerakkan lengan robot. Pengujian dilakukan dengan merubah nilai ADC (*Analog to Digital Converter*), kemudian dibandingkan dengan sudut dan perpanjangan *pneumatic*. Data hasil pengujian potensiometer terdapat pada tabel 4. 4.

Tabel 4. 4 Hasil pengujian resolusi sudut hasta

ADC Potensio 1	Perpanjangan <i>Pneumatic</i> (cm)	Sudut Hasta
905	5	98°
888	4,5	98°
867	4	98°
845	3,5	100°
825	3	100°
795	2,5	130°
777	2	135°
755	1,5	140°
725	1	145°
697	0,5	150°
663	0	155°

#### 4.2.2 Pengujian Resolusi Sudut *Elbow*

Pengujian potensiometer dilakukan untuk mendapatkan informasi data nilai sudut dan perpanjangan *pneumatic* pada bagian *elbow* yang digunakan sebagai nilai *feedback* untuk menggerakkan lengan robot. Pengujian dilakukan dengan merubah nilai ADC (*Analog to Digital Converter*), kemudian dibandingkan hasilnya dengan sudut dan perpanjangan *pneumatic* serta sudut *elbow*. Data hasil pengujian potensiometer terdapat pada tabel 4.5.

**Tabel 4. 5** Hasil pengujian resolusi sudut *elbow*

ADC Potensio 2	Perpanjangan <i>Pneumatic</i> (cm)	Sudut <i>Elbow</i>
74	0	40°
82	0,5	40°
89	1	40°
99	1,5	40°
106	2	40°
117	2,5	50°
127	3	50°
133	3,5	50°
138	4	60°
143	4,5	60°
151	5	60°

#### 4.3 Pengujian *Latency*

Pengujian *latency* adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui keterlambatan atau kecepatan/waktu dimulai pada saat lengan bergerak hingga lengan robot bergerak. Pengujian *latency* dilakukan menggunakan *stopwatch* agar dapat mengetahui berapa lama keterlambatan gerakan lengan robot pada saat pertama kali lengan digerakkan. Pengujian dilakukan pada setiap bagian lengan robot, yaitu *gripper*, *roll gripper*, hasta, *elbow* dan *base*. Hasil pengujian *latency* dapat dilihat pada tabel 4. 6 di bawah.

**Tabel 4. 6** Hasil pengujian *latency*

<b>Bagian</b>	<b><i>Latency</i> (detik)</b>
<i>Gripper</i> saat menutup	10
<i>Gripper</i> saat membuka	10
<i>Gripper</i> saat putar kanan	12
<i>Gripper</i> saat putar kiri	9
Hasta saat naik	22
Hasta saat turun	14
<i>Elbow</i> saat naik	31
<i>Elbow</i> saat turun	39
<i>Base</i> saat putar kanan	19
<i>Base</i> saat putar kiri	16

#### 4.4 Pengujian Sudut Lengan Robot

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sudut minimum dan maksimum yang dapat digerakkan oleh lengan robot. Pengujian dilakukan dengan cara menggerakkan lengan kemudian melihat hasil gerakan pada lengan robot kemudian mencari sudut minimum dan maksimum. Pengujian dilakukan pada setiap bagian lengan robot, yaitu *gripper*, *roll gripper*, hasta, *elbow* dan *base*. Hasil dari pengujian sudut lengan robot dapat dilihat pada tabel 4.7 di bawah.

**Tabel 4. 7** Hasil pengujian sudut lengan robot

<b>No.</b>	<b>Bagian</b>	<b>Sudut Minimum</b>	<b>Sudut Maksimum</b>
1	<i>Gripper</i>	0 cm / 0°	8,5 cm / 80°
2	<i>Roll Gripper</i>	0°	165°
3	Hasta	98°	155°
4	<i>Elbow</i>	40°	60°
5	<i>Base</i>	0°	150°

#### 4.5 Pengujian Jarak

Pengujian jarak dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh modul *Bluetooth* HC-05 dapat mengirimkan data dan menerima data. Pengujian dilakukan dengan cara menjauhi lengan robot secara lurus tanpa ada penghalang, kemudian jarak dihitung menggunakan alat penghitung jarak. Berdasarkan hasil percobaan, jarak maksimum yang dapat terjangkau oleh modul *Bluetooth* HC-05 adalah 6,7 meter. Hasil pengujian jarak dapat dilihat pada tabel 4.8 di bawah.

**Tabel 4. 8** Hasil pengujian jarak

Jarak (m)	Keterangan
1	Tersambung
2	Tersambung
3	Tersambung
4	Tersambung
5	Tersambung
6	Tersambung
7	Terputus
8	Terputus
9	Terputus

#### 4.6 Pengujian Beban

Pengujian beban dilakukan untuk mengetahui seberapa kuat lengan robot dapat mengangkat beban dengan keadaan stabil. Pengujian beban dilakukan dengan cara memberikan beban yang semakin besar pada *gripper* lengan robot kemudian dibandingkan dengan *error* sudut yang terjadi akibat diberi beban. Maksimum beban adalah 0.7 gram. Berdasarkan pengujian didapatkan bahwa semakin besar beban yang diangkat oleh lengan robot, maka semakin besar pula *error* sudut. Pengujian dilakukan dimulai dari 0 - 0.7 kilogram. Hasil pengujian beban dapat dilihat pada tabel 4. 9 di bawah.

**Tabel 4. 9** Hasil pengujian beban

<b>Beban (Kilogram)</b>	<b>Error Sudut</b>
0 kg	0°
0.1 kg	0°
0.2 kg	1°
0.3 kg	5°
0.4 kg	10°
0.5 kg	16°
0.6 kg	20°
0.7 kg	22°

#### **4.7 Pengujian Nilai Kp, Ki dan Kd**

Pengujian nilai Kp, Ki dan Kd adalah pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai Kp, Ki dan Kd yang sesuai. Pengujian dilakukan dengan cara mencoba dan mencari nilai yang terbaik. Nilai Kp, Ki dan Kd yang sesuai bertujuan untuk mendapatkan kontrol yang terbaik dari gerakan *pneumatic*. Berdasarkan hasil percobaan nilai Kp, Ki dan Kd yang paling sesuai untuk pergerakan *pneumatic* hasta adalah Kp=0,7, Ki=0,00001 dan Kd=4. Nilai Kp, Ki dan Kd yang paling sesuai untuk pergerakan *pneumatic elbow* adalah Kp=2, Ki=0,00001 dan Kd=0.8. Hasil percobaan dapat dilihat pada tabel 4. 10 dan 4. 11.

**Tabel 4. 10** Hasil pengujian Kp, Ki dan Kd hasta

<b>Kp</b>	<b>Ki</b>	<b>Kd</b>	<b>Hasil</b>
0	0	0	<i>Pneumatic</i> Tidak bergerak
0.1	0	0	<i>Pneumatic</i> Tidak bergerak
0.2	0	0	<i>Pneumatic</i> Tidak bergerak
0.3	0	0	<i>Pneumatic</i> bergerak
0.4	0	0	<i>Pneumatic</i> bergerak
0.5	0	0	<i>Pneumatic</i> bergerak
0.6	0	0	<i>Pneumatic</i> bergerak
0.7	0	0	<i>Pneumatic</i> bergerak
0.8	0	0	Osilasi melebihi <i>setpoint</i>
0.9	0	0	Osilasi melebihi <i>setpoint</i>
1	0	0	Osilasi melebihi <i>setpoint</i>
0.7	0.001	0	Osilasi melebihi <i>setpoint</i>
0.7	0.0001	0	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
0.7	0.00001	1	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
0.7	0.00001	2	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
0.7	0.00001	3	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
0.7	0.00001	4	Tidak Osilasi, Pergerakan Halus
0.7	0.00001	5	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
0.7	0.00001	6	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
0.7	0.00001	7	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
0.7	0.00001	8	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar

**Tabel 4. 11** Hasil pengujian Kp, Ki dan Kd *elbow*

<b>Kp</b>	<b>Ki</b>	<b>Kd</b>	<b>Hasil</b>
0	0	0	<i>Pneumatic</i> Tidak bergerak
0.3	0	0	<i>Pneumatic</i> Tidak bergerak
0.6	0	0	<i>Pneumatic</i> Tidak bergerak
0.9	0	0	<i>Pneumatic</i> bergerak
1	0	0	<i>Pneumatic</i> bergerak
1.3	0	0	<i>Pneumatic</i> bergerak
1.6	0	0	<i>Pneumatic</i> bergerak
2	0	0	<i>Pneumatic</i> bergerak
2.3	0	0	Osilasi melebihi <i>setpoint</i>
2.6	0	0	Osilasi melebihi <i>setpoint</i>
3	0	0	Osilasi melebihi <i>setpoint</i>
2	0.01	0	Osilasi melebihi <i>setpoint</i>
2	0.001	0	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
2	0.0001	1	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
2	0.00001	2	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
2	0.00001	3	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
2	0.00001	4	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
2	0.00001	5	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
2	0.00001	6	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
2	0.00001	7	Tidak Osilasi, Pergerakan Kasar
2	0.00001	8	Tidak Osilasi, Pergerakan Halus

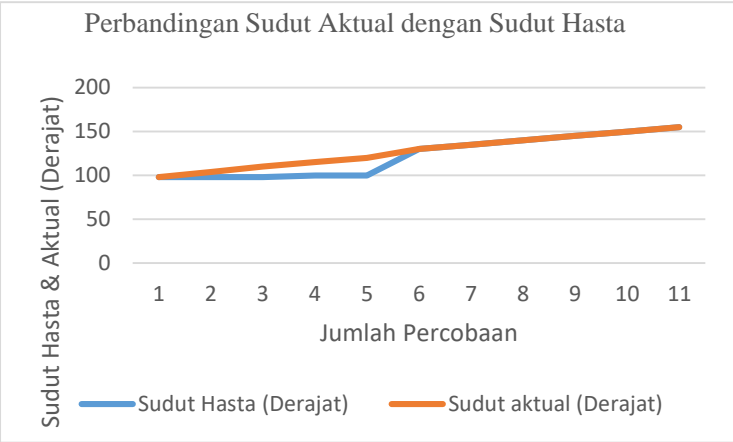


#### 4.8 Pengujian Linearitas Hasta dan *Elbow*

Pengujian linearitas bertujuan mengetahui apakah dua variabel mempunyai hubungan yang linear secara signifikan atau tidak. Pengujian linearitas hasta dilakukan untuk mengetahui seberapa besar linearitas sudut hasta dibandingkan dengan sudut aktual. Dengan melakukan pengujian ini dapat diketahui *error* sudut. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan sudut aktual dengan sudut hasta. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4. 12 dan 4.13 di bawah.

**Tabel 4. 12** Hasil pengujian linearitas hasta

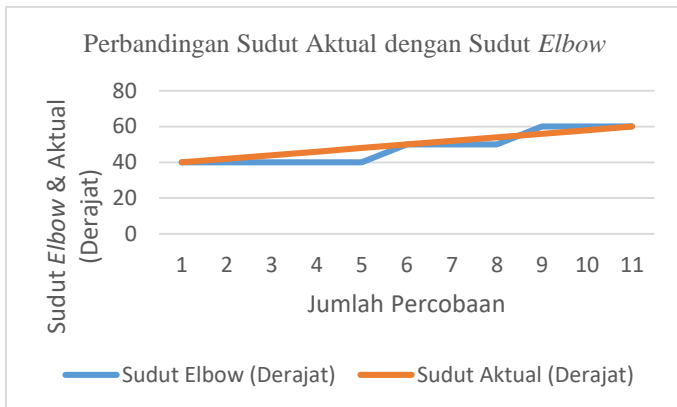
Sudut Hasta (Derajat)	Sudut aktual (Derajat)	<i>Error</i> Sudut
98	98	0
98	104	6
98	110	12
100	115	15
100	120	20
130	130	0
135	135	0
140	140	0
145	145	0
150	150	0
155	155	0
Rata-rata <i>error</i>		4,818182



**Grafik 4.4** Hasil perbandingan sudut aktual dengan sudut hasta

**Tabel 4. 13** Hasil pengujian linearitas *elbow*

Sudut <i>Elbow</i> (Derajat)	Sudut Aktual (Derajat)	<i>Error</i> Sudut
40	40	0
40	42	2
40	44	4
40	46	6
40	48	8
50	50	0
50	52	2
50	54	4
60	56	-4
60	58	-2
60	60	0
Rata-rata <i>error</i>		1,818182



**Grafik 4. 5** Hasil perbandingan sudut aktual dengan sudut *elbow*

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan pada pelaksanaan tugas akhir ini didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sudut hasta memiliki *error* sebesar 4.8 %, sedangkan sudut *elbow* memiliki *error* sebesar 1,8 %.
2. Jarak maksimum yang dapat dilakukan modul *Bluetooth* HC-05 untuk mengirim dan menerima data adalah 6,7 meter.
3. Semakin besar beban yang diangkat oleh lengan robot, semakin besar pula *error* sudut.
4. Untuk memperhalus gerakan *pneumatic* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara mekanik maupun secara program.
5. Untuk memperhalus gerakan *pneumatic* secara mekanik dapat dilakukan dengan menambahkan *air flow controller* pada *pneumatic* serta dengan cara meng-*couple* servo dengan kran *pneumatic*.
6. Untuk memperhalus gerakan *pneumatic* secara program dapat dilakukan dengan cara membuat algoritma kontrol PID (*Proporsional Integral Derivative*) yang sesuai dengan bukaan *coupling* servo dan kran *pneumatic*.
7. Berdasarkan hasil percobaan nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang paling sesuai untuk pergerakan *pneumatic* hasta adalah  $K_p=0,7$ ,  $K_i=0,00001$  dan  $K_d=4$ . Nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang paling sesuai untuk pergerakan *pneumatic elbow* adalah  $K_p=2$ ,  $K_i=0,00001$  dan  $K_d=0.8$ .

#### **5.2 Saran**

Adapun untuk perbaikan dan pengembangan alat kedepannya diantaranya adalah perlu perbaikan sistem mekanik, agar pergerakan lengan robot tidak terbatas pada sudut tertentu sehingga lebih leluasa dalam bermanuver.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Utomo, Mochamad Fajar Rinaldi, “Rancang Bangun Sensor Pemindai Gerak Tangan Manusia Menggunakan Sensor Akselerometer dan Sensor Giroskop untuk Mengendalikan Lengan Robot,”, 2016.
- [2] Cesar, David, "Pengembangan Lengan Robot Menggunakan Sistem Pneumatik untuk Mengambil Benda", Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [3] <http://idkf.bogor.net/yuesbi/e-DU.KU/edukasi.net/TIK/Cara.Kerja.Bluetooth/semua.html> [Accessed: 25-Apr-2018].
- [4] <https://mbed.org/users/edodm85/notebook/HC-05-bluetooth> [Accessed: 25-Apr-2018].
- [5] <http://tokoone.com/modul-bluetooth-modul-serial> [Accessed: 25-Apr-2018].
- [6] <http://diyttech.net/2013/10/09/mengenal-bluetooth-modul-hc-05-1> [Accessed: 25-Apr-2018].
- [7] Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, morolipi v2 robot penjinak bom, Nopember, 2013. Available : <http://lipi.go.id/risetunggulan/single/morolipi-v2-robot-penjinak-bom/6> [Accessed: 25-Apr-2018].
- [8] Y. Pititeeraphab , P. Choitkunnan, N. Thongpance, K. Kullathum, Ch. Pintavirooj, “Robot-arm control system using LEAP motion controller“ IEEE xplore., [Accessed: 25-Apr-2018]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7782091/>
- [9] <http://diyttech.net/2012/03/07/dalam-beberapa-aplikasi-atau-disain-kadangkala-kitamemerlukan> [Accessed: 25-Apr-2018].
- [10] Datasheet, flex sensor sparkfun, [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/.../Sensors/Flex/FlexSensor.pdf> [Accessed: 25-Apr-2018].
- [11] “HMC5883L Datasheet PDF” [Online]. Available: [https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/HMC5883L\\_3-Axis\\_Digital\\_Compass\\_IC.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/HMC5883L_3-Axis_Digital_Compass_IC.pdf) [Accessed: 25-Apr-2018].

- [12]“MPU-6050 Six-Axis (Gyro + Accelerometer) MEMS MotionTracking™ Devices” [Online]. Available: [https://store.invensense.com/datasheets/invensense/MPU-6050\\_DataSheet\\_V3%204.pdf](https://store.invensense.com/datasheets/invensense/MPU-6050_DataSheet_V3%204.pdf) [Accessed: 25-Apr-2018].
- [13]“Magnetometer Digital Triple Axis - HMC5883L” [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/retired/10494> [Accessed: 25-Apr-2018].
- [14]“What is Arduino?” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/> [Accessed: 25-Apr-2018].
- [15] “ATmega2560” [Online]. Available: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf) [Accessed: 25-Apr-2018].
- [16] <http://emka.web.id/special/electro/2012/apa-itu-pengontrol-pid/> [Accessed: 25-Apr-2018]
- [17] L. Ada, "Adafruit HMC5883L Breakout - Triple-Axis Magnetometer Compass Sensor," Adafruit Industries, 2016.
- [18] <https://pandaelectronicsbd.com/shop/mg996r-servo-motor/> [Accessed: 25-Apr-2018].
- [19] <http://www.china-pace.com/products/SPEED%20CONTROLLER-%20PA%20UNION%20STRAIGHT.html> [Accessed: 25-Apr-2018].
- [20] [http://etd.repository.ugm.ac.id/index.php?act=view&buku\\_id=77203&mod=penelitian\\_detail&sub=PenelitianDetail&typ=html](http://etd.repository.ugm.ac.id/index.php?act=view&buku_id=77203&mod=penelitian_detail&sub=PenelitianDetail&typ=html) [Accessed: 25-Apr-2018].
- [21] Wijaya, Satria, Agung Prijo Budiono “Kajian Pergerakan Lengan Menggunakan Sistem Pneumatik dengan 4DOF dan Beban Maksimum 9 kg”, 2017.
- [22] Suwito, Wahyu "Pengaturan Posisi Piston Silinder Pneumatik Pada Lengan Robot KRAI", 2014.



## LAMPIRAN A

### Program pembacaan pada sensor serta pengiriman data

```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <TimerOne.h>
#include <HMC5883L_Simple.h>

HMC5883L_Simple Compass;

const int MPU2=0x69,MPU1=0x68;
int16_t AcX1,AcY1,AcZ1,Tmp1,GyX1,GyY1,GyZ1;
int16_t AcX2,AcY2,AcZ2,Tmp2,GyX2,GyY2,GyZ2;

float roll1, pitch1, roll2, pitch2;
float roll1_1, pitch1_1, roll1_2, pitch1_2;
float roll2_1, pitch2_1, roll2_2, pitch2_2;
float accXangle1, accYangle1, accZangle1, gyroXrate1,
gyroYrate1, gyroZrate1;
float accXangle2, accYangle2, accZangle2, gyroXrate2,
gyroYrate2, gyroZrate2;
float gyroXAngle1, gyroYAngle1, gyroZAngle1;
float gyroXAngle2, gyroYAngle2, gyroZAngle2;
float kalibrasi_kompas;

unsigned long timer;

float ap = 0.9;
int pos = 0;
float roll_lama1=0;
float pitch_lama1=0;
float roll_lama2=0;
float pitch_lama2=0;
float roll360_1, roll360_2;
float sensitivitas=0.3;

void GetMpuValue1(const int MPU)
{
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x3B); // starting with register 0x3B
  (ACCEL_XOUT_H)
```

```

Wire.endTransmission(false);
Wire.requestFrom(MPU, 14, true); // request a total of
14 registers
AcX1=Wire.read()<<8| Wire.read(); // 0x3B (ACCEL_XOUT_H)
& 0x3C (ACCEL_XOUT_L)
AcY1=Wire.read()<<8| Wire.read(); // 0x3D (ACCEL_YOUT_H)
& 0x3E (ACCEL_YOUT_L)
AcZ1=Wire.read()<<8| Wire.read(); // 0x3F (ACCEL_ZOUT_H)
& 0x40 (ACCEL_ZOUT_L)
Tmp1=Wire.read()<<8| Wire.read(); // 0x41 (TEMP_OUT_H) &
0x42 (TEMP_OUT_L)
GyX1=Wire.read()<<8| Wire.read(); // 0x43 (GYRO_XOUT_H)
& 0x44 (GYRO_XOUT_L)
GyY1=Wire.read()<<8| Wire.read(); // 0x45 (GYRO_YOUT_H)
& 0x46 (GYRO_YOUT_L)
GyZ1=Wire.read()<<8| Wire.read(); // 0x47 (GYRO_ZOUT_H)
& 0x48 (GYRO_ZOUT_L)
if(MPU==MPU1)
{
float rollsatu=atan2(AcY1,AcZ1) * 57.2958;
float pitchsatu=atan2(AcX1,AcZ1) * 57.2958;
pitch1=pitch_lama1+sensitivitas*(pitchsatu-pitch_lama1);
roll1=roll_lama1+sensitivitas*(rollsatu-roll_lama1);
roll_lama1=roll1;
pitch_lama1=pitch1;
}
if(MPU==MPU2)
{
float rolldua=atan2(AcY1,AcZ1) * 57.2958;
float pitchdua=atan2(AcX1,AcZ1) * 57.2958;
pitch2=pitch_lama2+sensitivitas*(pitchdua-pitch_lama2);
roll2=roll_lama2+sensitivitas*(rolldua-roll_lama2);
roll_lama2=roll2;
pitch_lama2=pitch2;
}
}

void setup()
{
Serial.begin(38400);
Wire.begin();

Timer1.initialize(50000); //set time sampling 50ms untuk

```

pengiriman

```
Wire.beginTransaction(MPU1);
Wire.write(0x6B); // PWR_MGMT_1 register
Wire.write(0); // set to zero (wakes up the MPU-6050)
Wire.endTransmission(true);
Wire.begin();
Wire.beginTransaction(MPU2);
Wire.write(0x6B); // PWR_MGMT_1 register
Wire.write(0); // set to zero (wakes up the MPU-6050)
Wire.endTransmission(true);
```

```
Compass.SetDeclination(0, 0, 'E');
Compass.SetSamplingMode(COMPASS_SINGLE);
Compass.SetScale(COMPASS_SCALE_130);
Compass.SetOrientation(COMPASS_VERTICAL_X_EAST);
```

```
kalibrasi_kompas = Compass.GetHeadingDegrees();
}
```

```
void loop()
{
float heading = Compass.GetHeadingDegrees() -
kalibrasi_kompas;
```

```
if (heading>=90){
heading =90;
}
if (heading<=-90){
heading=-90;
}
```

```
GetMpuValue1(MPU1);
GetMpuValue1(MPU2);
```

```
float pitch1=pitch1*100;
float roll1=roll1*100;
float pitch2=pitch2*100;
float roll2=roll2*100;
float heading1=heading*100;
//rubah int
int data1=(int)pitch1;
int data2=(int)roll1;
```

```

int data3=(int)pitch22;
int data4=(int)roll22;
int data5=(int)heading1;
//-----
int
tandadata1,tandadata2,tandadata3,tandadata4,tandadata5;
if(data1<0)
{
tandadata1=1;
data1*=-1;
}
else
{
tandadata1=0;
}
//-----

if(data2<0)
{
tandadata2=1;
data2*=-1;
}
else
{
tandadata2=0;
}

//-----
if(data3<0)
{
tandadata3=1;
data3*=-1;
}
else
{
tandadata3=0;
}

//-----
if(data4<0)
{
tandadata4=1;
data4*=-1;
}

```

```

}
else
{
tandadata4=0;
}

//-----
if(data5<0)
{
tandadata5=1;
data5*=-1;
}
else
{
tandadata5=0;
}

Serial.print("1"); Serial.print(tandadata1);
Serial.print(data1); Serial.print("\n");
Serial.print("2"); Serial.print(tandadata2);
Serial.print(data2); Serial.print("\n");
Serial.print("3"); Serial.print(tandadata3);
Serial.print(data3); Serial.print("\n");
Serial.print("4"); Serial.print(tandadata4);
Serial.print(data4); Serial.print("\n");
Serial.print("5"); Serial.print(tandadata5);
Serial.print(data5); Serial.print("\n");
}

```

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## LAMPIRAN B

### Program penerimaan data serta menggerakkan lengan robot

```
#include <Servo.h>
#include <Wire.h>

String inString;
double data[100] = {0};
int sudut;
int potensio1 = A0, potensio2 = A1;
double nilai_potensio1, nilai_potensio2;
double error_sudutpitch1, error_sudutpitch2, output_pitch1,
output_pitch2;
double error_i_sebelum_pitch1, error_i_total_pitch1,
error_i_sebelum_pitch2, error_i_total_pitch2;
double error_d_pitch1, error_sebelum_pitch1 = 0,
error_d_pitch2, error_sebelum_pitch2 = 0;

Servo servo1;
Servo servo2;
Servo servo3;
Servo sAtas1;
Servo sAtas2;
Servo sBawah1;
Servo sBawah2;

void setup() {
  Serial1.begin(38400);
  Serial2.begin(38400);
  Wire.begin();
  servo1.attach(2);
  servo2.attach(3);
  servo3.attach(4);
  sAtas1.attach(5);
  sAtas2.attach(6);
  sBawah1.attach(7);
  sBawah2.attach(8);
  servo1.write(0);
  servo2.write(20);
  servo3.write(70);
  sAtas1.write(30);
  sAtas2.write(30);
}
```

```

        sBawah1.write(30);
        sBawah2.write(30);
    }
    void loop()
    {

//-----PROGRAM TERIMA DATA-----//
while (Serial2.available() > 0) {
    int inChar = Serial2.read();
    if (isDigit(inChar)) {
        inString += (char)inChar;
    }
    if (inChar == '\n') {

        String tanda = inString.substring(0, 1);
        //Serial.print("tanda=");Serial.println(tanda);
        String tanda1 = inString.substring(1, 2);
        String nilai = inString.substring(2, 10);
        //Serial.print("nilai=");Serial.println(nilai);
        int ubah = tanda.toInt();
        int ubah1 = tanda1.toInt();
        double angka = nilai.toDouble() / 100;
        if (ubah1 == 1) {
            angka *= -1;
        }
        data[ubah] = angka;
        inString = "";
    }
}

//-----//

//-----PROGRAM MAPPING DAN BATASIN DATA-----//
double mapdata1 = map(data[1], 0, 90, 98, 155);
mapdata1 = constrain(mapdata1, 98, 155);

double mapdata2 = map(data[2], -90, 90, 0, 165);
mapdata2 = constrain(mapdata2, 0, 165);

double mapdata3 = map(data[3], 0, 90, 40, 60);
mapdata3 = constrain(mapdata3, 40, 60);

```



```

double mapdata4 = map(data[4], -16, 16, 98, 155);
mapdata4 = constrain(mapdata4, 98, 155);

double mapdata5 = map(data[5], -90, 90, 0, 150);
mapdata5 = constrain(mapdata5, 0, 150);

double mapdata6 = map(data[6], 150, 190, 0, 55);
mapdata6 = constrain(mapdata6, 0, 55);

//-----PROGRAM KONTROL PID-----//
float kp_pitch1 = 0.7;
float ki_pitch1 = 0.00001;
float kd_pitch1 = 4;

float kp_pitch2 = 2;
float ki_pitch2 = 0.00001;
float kd_pitch2 = 0.8;

nilai_potensio1 = analogRead(potensio1);
nilai_potensio1 = map(nilai_potensio1, 664, 900, 155,
98);
nilai_potensio1 = constrain(nilai_potensio1, 98, 155);

nilai_potensio2 = analogRead(potensio2);
nilai_potensio2 = map(nilai_potensio2, 74, 151, 40, 60);
nilai_potensio2 = constrain(nilai_potensio2, 40, 60);

error_sudutpitch1 = mapdata1 - nilai_potensio1;
error_i_total_pitch1 = ki_pitch1 * error_sudutpitch1 +
error_i_total_pitch1;
error_d_pitch1 = error_sudutpitch1 -
error_sebelum_pitch1;
error_sebelum_pitch1 = error_sudutpitch1;

error_sudutpitch2 = mapdata3 - nilai_potensio2;
error_i_total_pitch2 = ki_pitch2 * error_sudutpitch2 +
error_i_total_pitch2;
error_d_pitch2 = error_sudutpitch2 -
error_sebelum_pitch2;
error_sebelum_pitch2 = error_sudutpitch2;

output_pitch1 = kp_pitch1 * (error_sudutpitch1 +
error_i_total_pitch1 + kd_pitch1*error_d_pitch1);

```

```

output_pitch2 = kp_pitch2 * (error_sudutpitch2 +
error_i_total_pitch2 + kd_pitch2*error_d_pitch2);
output_pitch1 = abs (output_pitch1);
output_pitch2 = abs (output_pitch2);
output_pitch1 = constrain(output_pitch1, 0, 50);
output_pitch2 = constrain(output_pitch2, 0, 50);

if (error_sudutpitch1 < -5) //naik
{
    sAtas1.write(30 - output_pitch1);
    sAtas2.write(30);
}
if (error_sudutpitch1 > 5) //turun
{
    sAtas1.write(30);
    sAtas2.write(30 - output_pitch1);
}

if(error_sudutpitch2 < -5) //naik
{
    sBawah1.write(50);
    sBawah2.write(50 - output_pitch2);
}
if(error_sudutpitch2 > 5 )//turun
{
    sBawah1.write(50 - output_pitch2);
    sBawah2.write(50);
}
//-----//

//-----PROGRAM GERAK SERVO-----//
    servo1.write(mapdata6);

    mapdata2 = data[2]+20;
    servo2.write(mapdata2);

    mapdata5 = data[5]+70;
    servo3.write(mapdata5);
//-----//

Serial.print("pitch_1=");Serial.print(data[1]);
Serial.print("\t");

```

```
Serial.print("roll_1=");Serial.print(data[2]);  
Serial.print("\t");  
Serial.print("pitch_2=");Serial.print(data[3]);  
Serial.print("\t");  
Serial.print("roll_2=");Serial.print(data[4]);  
Serial.print("\t");  
Serial.print("compass=");Serial.print(data[5]);  
Serial.print("\t");  
Serial.print("Gripper=");Serial.println(data[6]);  
}
```

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## LAMPIRAN C

### Program sensor tekanan

```
#define IN1 6
#include <Servo.h>

Servo myServo;
int adc_sensor = 0;
int sensorPin = A0;
float v_sensor;
float tekanan_kpa;
float tekanan_psi;
float tekanan_bar;
float tekanan_lampau;
float filter_tekanan;
float tekanan_lib;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  myServo.attach(2);
}

void loop() {
  adc_sensor = analogRead(sensorPin);

  v_sensor = adc_sensor*0.004594330400782;
  tekanan_kpa = (v_sensor/4.7) - 0.04;
  tekanan_kpa = tekanan_kpa/ 0.0012858;
  tekanan_bar = tekanan_kpa/100;
  tekanan_psi= (tekanan_kpa*0.145038)-14;
  if(tekanan_psi < 38) myServo.write(155);
  if(tekanan_psi >= 40) myServo.write(65);
  Serial.print(adc_sensor);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(v_sensor);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(tekanan_bar);
  Serial.print("\t");
  Serial.println(tekanan_psi);
}
```

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

**LAMPIRAN D**  
**Dokumentasi Kegiatan Tugas Akhir**

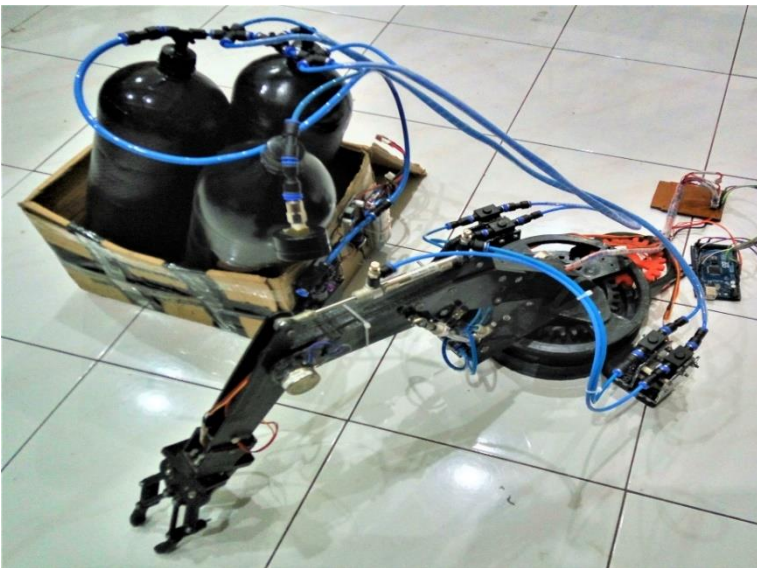
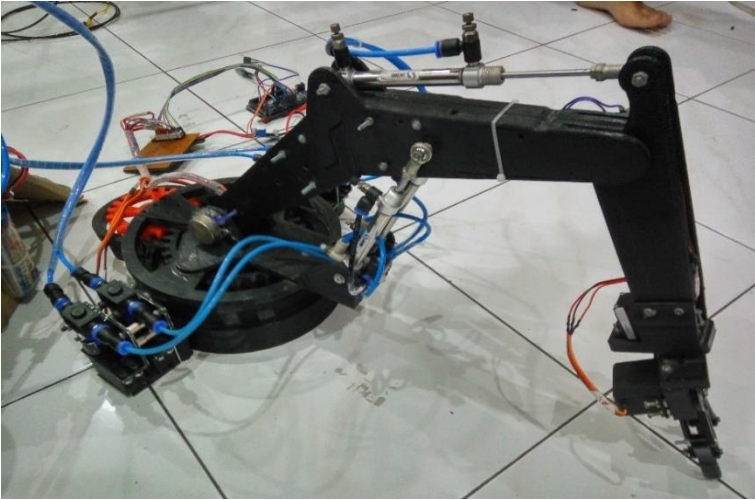












.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## **BIODATA PENULIS**



Mochammad Bintang Juris Islami, lahir di Tangerang, 22 Maret 1997. Penulis memulai jenjang pendidikan di sekolah dasar di SD Negeri Medang Lestari pada tahun 2002 hingga 2008. Penulis melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SMP Negeri 1 Parungpanjang pada tahun 2008 hingga 2011. Penulis melanjutkan jenjang pendidikan di SMA Negeri Cahaya Madani Banten Boarding School pada tahun 2011 hingga 2014. Pada tahun 2014, penulis memulai pendidikan strata I di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama kuliah, penulis aktif mengikuti kegiatan perlombaan robotika nasional dan aktif menjadi asisten laboratorium elektronika dasar.

Email : bintangjuris@yahoo.co.id